
DIPLOMARBEIT

Herr
Johannes Zotter

**Schlüsselprozesse in der
Produktentstehung eines
Anlagenbauers –
Analyse, Bewertung und Optimierung
des Produktionsprozesses mittels
kennzahlengesteuerten, CAD-
integrierten Werkzeuges**

Mittweida, 2015

DIPLOMARBEIT

Schlüsselprozesse in der Produktentstehung eines Anlagenbauers – Analyse, Bewertung und Optimierung des Produktionsprozesses mittels kennzahlengesteuerten, CAD- integrierten Werkzeuges

Autor:

**Herr
Johannes Zotter**

Studiengang:

Wirtschaftsingenieurwesen

Seminargruppe:

KW09w2SA

Erstprüfer:

Prof., Dipl.-Kfm., Dr. rer. pol. Andreas Hollidt

Zweitprüfer:

Prof., Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling

Einreichung:

Mittweida, 30.01.2015

Verteidigung/Bewertung:

Wolfsberg, 2015

DIPLOMA THESIS

Key processes in the product development of a plant manufactures – Analysis, evaluation and optimizing of the production process by means of indicators controlled, CAD-integrated tool

author:

**Mr.
Johannes Zotter**

course of studies:

industrial engineering and management

seminar group:

KW09w2SA

first examiner:

Prof., Dipl.-Kfm., Dr. rer. pol. Andreas Hollidt

second examiner:

Prof., Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling

submission:

Mittweida, 30.01.2015

defense / evaluation:

Wolfsberg, 2015

Bibliographische Beschreibung

Zotter, Johannes:

Schlüsselprozesse in der Produktentstehung eines Anlagenbauers – Analyse, Bewertung und Optimierung des Produktionsprozesses mittels kennzahlengesteuerten, CAD-integrierten Werkzeuges. 2015. - V, 106, 74 S. Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2015

Referat

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit ist es, eine praxisbezogene, prozessintegrierte und transparente Mess-, Analyse-, Bewertungs-, und Optimierungsinfrastruktur für den Produktionsprozess innerhalb der Produktentwicklung zu konzipieren und in das Tagesgeschäft zu implementieren. Die Optimierungsmaßnahmen stützen sich einerseits auf eine aussagekräftige Prozessgestaltung und andererseits auf kenntnisgestützte, analytische, qualitative und quantitative Methoden der Mess-, Analyse- und Bewertungsstrategie. Das entwickelte Konzept umfasst ein produktionsspezifisch modelliertes Kennzahlensystem, das über ein CAD-integriertes Messinstrument, die Produktionsperformance impliziter Fertigungsstellen misst. Dieses Entwicklungstool stellt den Datenbezug wiederum über eine schnittstellenübergreifende Produktionsparameter-Datenbank her, dessen Datengehalt sich aus lieferanten- und unternehmensinternen Werkzeug-, Werkzeugmaschinen-, Werkstoff- und Preis-Leistungsdatenblättern sowie aus Erfahrungswerten systematisiert. Bereits während der Produktentwicklung kann der Konstrukteur Herstelldaten, wie Herstellabläufe, Termin- und Kostenverläufe bzw. Prognosen, aus den konstruierten Bauteilen und Baugruppen synchronisieren. Anhand der Messdaten lassen sich etwaige Zielkonflikte über Finite Elemente Methoden bzw. Design- und Fertigungsanpassungen beseitigen. Das Werkzeug liefert im praxiserprobten Zustand einen nachvollziehbaren Variantenvergleich. Mit diesem Messinstrument soll der Produktionsprozess strategierorientiert auf operativer Ebene gemessen, bewertet und gesteuert werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis:	V
1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung und Motivation	2
1.2. Zielsetzung	4
1.3. Methodisches Vorgehen	5
2. Das Unternehmen	9
2.1. Qualitative Unternehmensziele	11
2.2. Quantitative Unternehmensziele	11
2.3. Erfolgsfaktoren in der Ablauforganisation	13
3. Analyse der internen Produktentstehungsperspektive	14
3.1. Optimierungsziele dieser Arbeit	17
3.2. Bildung eines interdisziplinären Teams.....	21
3.3. Schlüsselprozesse in der Produktentstehung	22
3.3.1. <i>Engineering und Konstruktion</i>	24
3.3.2. <i>Produktion / Fertigung</i>	26
3.3.3. <i>Montage</i>	32
3.4. Analyse der Produktionsprozesse.....	33
3.4.1. <i>Bestimmung der allgemeinen Einflussgrößen</i>	34
3.4.2. <i>Prozessanalyse – Allgemeiner Stahlbau und Blechbearbeitung</i>	42
3.4.3. <i>Prozessanalyse – CNC-Trennschnittverfahren</i>	43
3.4.4. <i>Prozessanalyse – Spanende Bearbeitung</i>	45
3.4.5. <i>Prozessanalyse – Montage</i>	47
3.5. Schwachstellenanalyse	50
3.6. Schnittstellenanalyse	54
4. Modellierung des Soll-Konzepts.....	56
4.1. Anwendung der Simulation als Frühwarnsystem	58

4.2.	Anwendung des Target Costings	60
4.3.	Anwendung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse.....	63
4.4.	Ansätze zur Messung von Schweißkonstruktionen	64
4.5.	Kritische Auseinandersetzung im Zuge der Auswahl des Lösungsansatzes ..	68
5.	Quantitatives Bewerten der Produktionsprozesse.....	69
5.1.	Grundlagen von Kennzahlen	71
5.2.	Mengenbezogene Kennzahlen	72
5.3.	Zeitbezogene Kennzahlen	72
5.3.1.	<i>Durchlaufzeit</i>	73
5.3.2.	<i>Rüstzeiten</i>	75
5.3.3.	<i>Bearbeitungszeit</i>	75
5.4.	produktbezogene Kosten / Prozesskosten	80
5.4.1.	<i>Herstellkosten</i>	81
5.4.2.	<i>Materialkosten</i>	84
5.4.3.	<i>Fertigungskosten</i>	86
6.	Optimieren der Produktentstehung.....	91
6.1.	Messung projektbezogener Bauteile und Baugruppen.....	91
6.2.	Bewertung von projektbezogenen Bauteilen und Baugruppen.....	93
6.3.	Aggregation der Teilergebnisse zu einem Gesamtergebnis	94
7.	Schlussbetrachtung	96
7.1.	Zusammenfassung der Ergebnisse	96
7.2.	Kritische Beurteilung der Ergebnisse	99
7.3.	Fazit und Ausblick.....	100
	Literaturverzeichnis	101
	Anhang.....	VI
	Selbstständigkeitserklärung.....	LXXX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufschema des operativen Prozessmanagements.....	6
Abbildung 2: Die Kernprozessmodellebene des Unternehmens als erweiterte Prozesslandkarte einschließlich der vorgelagerten Prozesse der Produktentstehung.....	23
Abbildung 3: Zuordnung von Konstruktionsphasen zu den Konstruktionsarten.....	24
Abbildung 4: Herstellmethodik eines Bauteils innerhalb der Blechbearbeitung.....	43
Abbildung 5: Konturabbildung (Schneidpfad) eines trennschnittbearbeiteten Bauteils (Zeichnungsnummer 0394_13_20_009)	44
Abbildung 6: Abgrenzung der wichtigsten Bearbeitungsvorgänge beim Fräsen.....	46
Abbildung 7: Abgrenzung der wichtigsten Bearbeitungsvorgänge beim Drehen.....	47
Abbildung 8: Darstellung der Kehlnahtdicke a	48
Abbildung 9: Kostenbeeinflussung während der Produktlebensphasen.....	51
Abbildung 10: Klassische Vorgehensweise bei der Produktentwicklung	52
Abbildung 11: Zielkostenorientiertes Vorgehen in der Entwicklung und Konstruktion ..	61
Abbildung 12: Ergebnis der Zielkostenplanung.....	63
Abbildung 13: Herangehensweise in der Entwicklung eines Kennzahlensystems	70
Abbildung 14: vereinfachtes Schema der Vorgabezeiten nach REFA	74
Abbildung 15: Schnittgeschwindigkeiten pro Leistungseinheit im Leistungsvergleich der internen CNC Brennschnitanlage mit dem externen Laser- Trennschnittverfahren.....	76
Abbildung 16: Schnittzeit beim Längs-Runddrehen	77
Abbildung 17: Berechnungsfaktoren für das Zeitspanvolumen bei spanender Bearbeitung	78
Abbildung 18: mittlere Schnittkosten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unternehmensziele 2014	11
Tabelle 2: Ableitung leistungsbestimmender Prozessoptimierungsziele am Beispiel des Konstruktionsprozesses	18
Tabelle 3: entwicklungs- und konstruktionsbedingte Einflussgrößen auf die Herstellung - Optimierungsziele in der Produktentstehung	20
Tabelle 4: Materialkosten senken	36
Tabelle 5: interne Vorgabe für die Bestimmung der max. Kehlnahtdicke einschließlich der Anzahl der Schweißnahtlagen (rot dargestellt)	49
Tabelle 6: Sollwertvorgabe für Schweißprozesse ab 750 kg Baugruppengewicht bei gegebener Kehlnahtdicke	65
Tabelle 7: optimierte Sollwertvorgabe für die Bestimmung der Kehlnahtdicke einschließlich der Schweißlagen (rot dargestellt) als Resultat der externen Prozessanalyse	67
Tabelle 8: Aufbau der Herstellkostenstruktur	82
Tabelle 9: Methode zur Ermittlung der Herstellkosten	83
Tabelle 10: Kostenarten des Materials	84
Tabelle 11: Systematik der Rüstkostenverteilung im Zuge der Bauteilfertigung	87
Tabelle 12: Sollwertvorgabe der Schweißprozesskosten	89
Tabelle 13: optimierte Herstellkosten auf Basis der Best Case Varianten	95

Abkürzungsverzeichnis:

AV	Arbeitsvorbereitung
BAB	Betriebsabrechnungsbogen
ca.	zirka
CAD	Computer-Aided-Design
CAM	Computer-Aided-Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
DV	Datenverarbeitung
d.h.	das heißt
DXF	Drawing Exchange Format
FEK	Fertigungseinzelkosten
FEM	Finite-Elemente-Methode
FK	Fertigungskosten
FLK	Fertigungslohnkosten
i.e.S.	im engeren Sinne
i.w.S.	im weiteren Sinne
IT	Informationstechnik
MEK	Materialeinzelkosten
MGK	Materialgemeinkosten
MGKZ	Materialgemeinkostenzuschlagssatz
MK	Materialkosten
NC	Numerical Control
PDM	Produktdatenmanagement
PE	Prozesselement
PKR	Prozesskostenrechnung
SEF	Sondereinzelkosten der Fertigung
SW	SolidWorks
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WKW	Wasserkraftwerk
z.B.	zum Beispiel
ZSV	Zeitspanvolumen

1. Einleitung

„The problem with most companies that have failed in their transformation efforts is not that they tried to change too little, but that they tried to change too much.”¹

Beginnend mit diesem ausdrucksstarken Gedankengut der Wirtschaftswissenschaftler Sumantra Ghoshal und Christopher A. Bartlett, legt gegenständliche Arbeit den primären Fokus in das Kerngebiet des Produktentstehungsprozesses, um die Produkt- und Prozessentwicklung mit Beziehung zur Produktion laufend zu optimieren. Um potentielle Unternehmensrisiken vorzubeugen werden verstärkt diejenigen Prozesse untersucht, die für die direkte Produktentstehung (Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion)² erforderlich sind. Betreffend dieser Ausgangssituation behandelt die vorliegende Arbeit die Fragestellung auf welche Art und Weise der Gesamterfolg des Produktentstehungsprozesses³ gemessen werden kann bzw. ob die Umsetzung der wertschöpfenden Schlüsselprozesse in der kundenspezifischen Anlagenerstellung zur Zielerfüllung der Unternehmensstrategie beitragen.⁴

Die Einleitung gibt hierzu einen zusammengefassten Einblick in die momentane Handhabung zusammenhängender Unternehmensaktivitäten des betrieblichen Produktentstehungsprozesses, welche in der Problemstellung erläutert werden. Weiterführend wird auf die Zielsetzung und das methodische Vorgehen dieser Arbeit eingegangen.

¹ Vgl. Klein (1997), S. 141.

² Vgl. Ehrlenspiel und Meerkamm (2013), S. 162.

³ Vgl. Bracht, Geckler und Wenzel (2011), S. 81 f.

⁴ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S.12.

1.1. Problemstellung und Motivation

Im Zuge des zunehmend dynamisierten Wirtschaftsumfeldes rücken neben dem voranschreitenden Technologiewandel vor allem undurchsichtige Unternehmensabläufe im Bereich Kommunikation und Produktentstehung in den Fokus betrieblicher Auseinandersetzungen des Unternehmens. Der nachlässige Umgang dieser Organisationsdisziplinen äußert sich durch negative Auswirkungen auf die Effektivität und Effizienz der Organisation. Denn reibungslose Geschäftsprozesse garantieren erst den sinnvollen Einsatz von Kennzahlen und sind neben den angebotenen Produkten der Schlüssel zum Erfolg eines Unternehmens. Dem Anschein nach, glaubt die Unternehmensleitung den Ursprung der finanziellen Fehlentwicklungen in der Ausführung der Produktionsprozesse gefunden zu haben, wobei keine aussagekräftigen quantitativen Informationen für die Lokalisierung der Zielkonflikte vorliegen. In weiterer Folge erzeugt dieser Missstand Unsicherheit⁵, da Risiken aufgrund fehlender Mess-, Analyse- und Bewertungsmethoden nicht richtig eingeschätzt, gemessen und kontrolliert werden können.

Diese Ausgangssituation ist Motivationstreiber gegenständlicher Arbeit, das Themengebiet auf den Produktentstehungsprozess einzugrenzen und die Produkt- und Prozessentwicklung mit Beziehung zur Produktion auf bestehende Zielkonflikte zu untersuchen. Erfolgsbestimmend für dieses Bestreben ist, dass die Prozessbeziehungen bekannt sein müssen. Ein scheinbares Prozesskonstrukt zur Harmonisierung der Kerngeschäftsprozesse existiert zwar in den Köpfen der Mitarbeiter, jedoch bewirkt der fehlende Bezug zu Prozessstandards, Prozessfolgen, Prozesszeiten und Prozesskosten zu einer Distanzierung individueller Verantwortungspflichten sobald unternehmens- oder projektbezogene Fehlentwicklungen bzw. Fehlleistungen bekannt werden.⁶ Verstärkt wird das negative Organisationsmilieu durch die andauernde Kontroverse zwischen Produktentwicklung und dem Controlling. Der Entwicklungsingenieur verfolgt das Ziel technisch optimale Aufgabenlösungen zu schaffen,

⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 35.

⁶ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 78.

während für die Finanzabteilung die wirtschaftlichen Aspekte, wie die Minimierung eingesetzter Ressourcen bei gegebenen maximal zulässigen Herstellkosten, im Mittelpunkt stehen. Aufgrund dieser polarisierten Verbundenheit müsste sich der Fokus vor allem auf die frühe Phase der Produktentwicklung richten, wo Kostensenkungs- und Effizienzsteigerungsmaßnahmen im Rahmen dynamischer und komplexer Aufgabenstellungen die bestmöglichen Optimierungschancen bieten. Demzufolge richtet sich die Aufmerksamkeit explizit auf den Entwicklungskonstrukteur, der gleichzeitig die Verantwortungs- und Entscheidungspflichten des Prozessbeauftragten übernimmt.

Gegenwärtig operiert jede Abteilung nahezu isoliert voneinander. Dadurch fehlt dem Produktentwickler grundsätzlich der Bezug zu produktionsrelevanten Informationen wie Materialkosten, Fertigungsdurchlaufzeiten bzw. Bearbeitungs- und Rüstzeiten im speziellen sowie Fertigungskostenstrukturen signifikanter Bearbeitungsverfahren. Dieses Defizit führte bereits in der Vergangenheit dazu, dass es zu Überschneidungen in der Ablauf- und Kostenplanung bei simultan abzuwickelnden Anlagenprojekten kam. Die verschiedenen Produktionsabteilungen sind durchwegs voneinander in ihren Prozessdurchläufen abhängig und überlagern sich. Falsche Konstruktions- und Produktionsplanungen führen immer wieder zu Stillstands- bzw. Liegezeiten im Produktionsprozess, dass zukünftig dem Unternehmen die Handlungsfähigkeit erschwert. Genau hier wird die Frage in den Raum gestellt, ob es nicht mit den heutigen CAD-Modulen möglich sein müsste, entsprechende Messapplikationen und Infrastrukturen in den Entwicklungsprozess zu integrieren.⁷ Denn der Entwicklungsingenieur ist es, der die Kosten- und Zeitstruktur des Produktes maßgeblich beeinflusst und entscheidet streng genommen über die zukünftige Handlungsfähigkeit des Unternehmens. Fakt ist, dass ein objektives Messverfahren fehlt, das weitaus präzisere Angaben zur Variantenbewertung hervorbringt als die subjektiv festgelegten Gruppierungen.

⁷ Vgl. Dimitrellou, Diplaris und Sfantsikopoulos (05-06/2007), S. 519.

1.2. Zielsetzung

Ein wirksamer Lösungsansatz dieser Problematik baut auf dem System der Prozessorientierung auf, dessen Methodik die Zusammenführung des Know-hows der Mitarbeiter aus den indirekt wertschöpfenden Bereichen des Einkaufs und der Produktionsplanung ist. Zudem wird die Wissensintegration durch die Einbindung der direkt wertschöpfenden Leistungsbereiche im Rahmen der Entwicklung und Konstruktion, der Fertigung und Montage sowie der Benchmarking-Partnerschaft und der Werkzeug- und Produktionsmaschinenlieferanten vervollständigt. Das Prozessmanagement stellt dem Anwender hierfür theoretische Ansätze zur Entwicklung geeigneter Methoden, Techniken und Werkzeuge bereit. Ein wesentlicher Baustein zur Prozessanalyse, Prozesssimulation und Prozessverbesserung wird damit geschaffen.

Die Basis bildet die Gestaltung und Operationalisierung der Prozesse. Zur objektiven Bewertung, Optimierung und Steuerung der Konstruktions- und Fertigungsprozesse müssen effizienzbestimmende Produktionskennzahlen bestimmt werden, die beispielsweise die Konstruktionsgestaltung einzelner Bauteile, die eingesetzte Fertigungstechnologie, die eingesetzten Maschinenwerkzeuge aber vor allem Durchlaufzeiten und Kostenstrukturen entscheidender Bearbeitungsabläufe analysieren. Dem Produktentwickler muss es daher in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase möglich sein, Herstellinformationen aus den konstruierten Bauteilen und Baugruppen auf Basis der CAD-Informationen abzuleiten, um mögliche Konfliktsituationen analysieren, bewerten und gezielt durch Veränderung oder Auslagerung korrigieren zu können. Entsprechend der Forderung muss eine Messapplikation integriert werden, die erstmals die Voraussetzung für die schnittstellen- und fachbereichsübergreifende Daten- und Kennzahlenerhebung schafft. Zweckdienlich erprobt der Entwicklungsingenieur die einzelnen Handlungsalternativen und überwacht die Entscheidungen auf Strategiekonformität. Fortführend deckt das wissenschaftliche Analysieren von Benchmarks und Kennzahlen etwaige Optimierungschancen auf. Die neu geformten Leistungsstandards und Best Practices tragen fortan zur Leistungs- und Prozessentwicklung bei. Erst wenn das Instrument nachvollziehbare Vergleiche liefert, ist vorab auch der finale Entwicklungsstatus für das

Messinstrument erreicht und es kann von einer objektiven Bewertungsmöglichkeit des Leistungserstellungsprozesses gesprochen werden. Ab diesem Zeitpunkt generiert das Werkzeug Zeitindikatoren für die Fertigungsplanung und listet Kostendetails für die Finanzabteilung auf. Visualisierungspakete runden die Analyse- und Bewertungsaktivitäten für eine strukturierte, transparente und klar verständliche Ergebniskontrolle ab.

Angestrebtes Ziel ist es, mit der Konkurrenz zumindest gleichzuziehen und aus der Beseitigung gegenwärtiger Schwachstellen Vorteile hervorzubringen. Die integrierte Messapplikation soll zielführend eine ökonomische Ausschöpfung und Nutzung der vorhandenen Unternehmensressourcen absichern. Im Zuge dieser Neugestaltung werden Maßnahmen initiiert, die den Gesamterfolg der Unternehmung sichern und langfristig ausbauen sollen. In diesem Sinne darf das Prozessmanagement im Tagesgeschäft nicht als kurzfristige Modeerscheinung angesehen werden, sondern soll als wirkungsvolles Instrument zur Bewältigung dynamischer und betrieblicher Herausforderungen angewendet werden. Verbesserungspotenziale sind immer präsent, diese gilt es nur mit geeigneten Methoden aufzuspüren.

1.3. Methodisches Vorgehen

Vom Ansatzpunkt integriert sich diese Diplomarbeit in die steuernden Regelkreise einer prozessorientierten Organisation, deren Zentren das strategische und operative Prozessmanagement darstellen. Der Aufbau vereinnahmt demnach die chronologische Reihenfolge, gemäß der aus der Literatur präferierten und standardisierten Prozessbeschreibung, wobei das strategische Management als Führungsprozess nur gestreift wird. Das operative Management umfasst entsprechend Abbildung 1 die Teildisziplinen operative Zielbildung, Analyse, Darstellung, Design, Einführung, Steuerung und Optimierung.



Abbildung 1: Ablaufschema des operativen Prozessmanagements

Kapitel 2 eröffnet den ersten Abschnitt dieser Diplomarbeit, das sich durch die Berührung der strategischen Ebene bemerkbar macht. Die Unternehmensdarstellung leitet im Rahmen der strategischen Organisationsausrichtung den Beginn der Prozessorientierungsinitiative ein. Aus dieser zweckmäßigen Darstellung wird versucht, die strategische Unternehmenszielbildung voranzutreiben, um den Weg für die operativen Meilensteine des Führungsprozessaufbaus zu ebnen. Ergänzend werden die potentiellen Erfolgsfaktoren ermittelt, die formal die operative Prozesszielbildung begünstigen. Diese Grundbasis schafft im Vorfeld ein Verständnis für die theoretischen Grundzusammenhänge prozessgesteuerter Unternehmensaktivitäten und deren Auswirkungen innerhalb wie auch außerhalb des Unternehmens.

Der Übergang von Kapitel 2 auf Kapitel 3 geht fließend in die Prozesszielbildung über, die entweder Problemlösungs- oder Leistungserhöhungscharakteristiken in der Prozessabwicklung aufspüren und dokumentieren. Der integrierte Ansatz soll vorzugsweise die Untersuchung von Steuerungsfaktoren wie Prozesszeiten, -kosten und -qualität innerhalb eines interdisziplinären Teams begünstigen. In dieser Arbeitsgruppe werden Schlüsselprozesse der Organisation zu einem Prozessmodell modelliert und dokumentiert, ehe einzelne

Elementarprozesse der Produktionsabläufe eines Analysevorgangs der Ist-Situation unterzogen werden. Hierbei wird durch die Ermittlung entscheidender Einflussgrößen ein wesentlicher Grundstein für die Kennzahlenaufbereitung gelegt, wodurch eine Schwachstellenanalyse unumgänglich für geforderte Optimierungsziele wird und sachgemäß durchgeführt werden muss. Bei erfolgreicher Umsetzung können unter Umständen zusätzliche Schnittstellen in der Aufbauorganisation, wie z.B. ein Qualitätsmanagement, eingespart werden.

In Kapitel 4 „Modellierung des Soll-Konzepts zur Ermittlung der Best Case“ werden die aus der Schwachstellenanalyse erhobenen Defizite in der Produktentwicklung durch Vorbereitung, Identifikation und Dokumentation korrigiert. Zu Beginn werden diesbezüglich allgemeine Einflussgrößen für Konstruktionsvarianten präzisiert, um leistungshemmende Problemherde aktiver einzugrenzen und lokalisieren zu können. Analog werden Lösungsansätze präsentiert, die dynamische Elemente in einem Prozessmodell bündeln, um schlüssige und flexible Ergebnisse herbeiführen zu können. Der Beste Fall ist dadurch gekennzeichnet, dass mit dem neuen Konzept bereits während der Produktentstehung die Best Case aus der Ausführung gefiltert werden kann. Die getroffenen Handlungen werden für zukünftige Entscheidungen in einer FMEA oder ähnlichen Methoden abgesichert und dokumentiert, um noch flexibler auf Änderungswünsche des Kunden reagieren zu können.

Darauffolgend wird in Kapitel 5 dargestellt, welche Kennzahlen für die Bewertung von Schlüsselprozessen in der Wertschöpfungskette der Produktion sinnvoll anzuwenden sind. Die Einleitung verweist den Leser auf die theoretischen Grundlagen der einschlägigen Literatur, ehe die analysierten und dokumentierten Produktionsprozesse quantitativ bewertet werden. Darauf aufbauend kann der Steuerungskomplex sowie die Optimierungsoberfläche gestaltet werden.

In Kapitel 6 wird durch eine Messmethode der Simulationstechnik versucht, die defizitären Problembereiche quantitativ zu erklären, damit operative Gegenmaßnahmen in der Konstruktionsausführung neu aufbereitet werden können. So lässt sich die Steuerungsfunktionalität erklären, die durch absolute, herstellorientierte Kennzahlen erreichbar werden. Für die Bewertungsinitiative werden

die aus dem Anhang erhobenen Messungen für die Ableitung von Teilergebnissen herangezogen, ehe sie zu einem Gesamtergebnis geformt werden. Diese Herangehensweise erlaubt eine objektive Beurteilung der Ergebnisse und Entscheidungen und verspricht eine leistungsgerechte Absicherung der Zielerreichung.

Im abschließenden Kapitel „Schlussbetrachtung“ werden die Ergebnisse im Hinblick auf die getroffenen Maßnahmen und Konsequenzen zusammengefasst und kritisch beurteilt. Ein vorgezogenes Resümee und ein zusammenfassender Ausblick dieses Themenbereiches leiten den Schluss dieser Dissertation ein.

2. Das Unternehmen

Das Beispielunternehmen zählt im Sinne der europäischen Definition als Kleinunternehmen⁸, welches im Jahr 2010 in Folge einer Insolvenz hervorging. Die Unternehmensorganisation umfasst derzeit 13 Mitarbeiter, von denen 9 Arbeitskräfte und ein Angestellter für die betriebliche Leistungserstellung im Rahmen des direkten Produktentstehungsprozesses verantwortlich sind.

Das Kerngeschäft ist die Projektierung, Fertigung und Montage von Erzeugnissen des allgemeinen Anlagen- und Maschinenbaus. Seit der Neugründung wird der Fokus jedoch verstärkt auf die Entwicklung und Produktion von Geräten, Anlagen und Stahlvorrichtungen des Untertagebaus gelegt, da hier aufgrund kurzfristiger und dynamischer Reaktionszeiten höhere Margen erzielt werden können. Hierunter zählen Förderband- und Bunkeranlagen für die Abbruchaufbereitung, Druckrohrleitungsmontagevorrichtungen, Tunnelbohrnachläufersysteme, Schachtbühnen, Container- und Schalungssysteme sowie diverser anderer Stahl- und Sonderkonstruktionen. In den kommenden Jahren verfolgt die Engineering- und Konstruktionsabteilung das Vorhaben, den prozentuellen Anteil an vorgefertigten Zukaufteilen mittelfristig auszubauen, um dadurch umfangreichere Projekte angehen zu können.

Der Jahresumsatz konnte im Jahr 2014 um 360.000 Euro auf 2,4 Mio. Euro im Gegensatz zum Vorjahr gesteigert werden. Diese Wertsteigerung lässt sich auf die Fokussierung in das Kerngeschäftsfeld im Bereich des Untertagebaus zurückführen. Der wichtigste Vertriebsmarkt ist auf den deutschsprachigen Raum, insbesondere Österreich und Deutschland beschränkt. Grundsätzlich geht die Kundenanfrage dem Endprodukt voraus, deren Vertrieb ausschließlich über die Geschäftsführung abgewickelt wird.

⁸ Vgl. http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/facts-figures-analysis/sme-definition/index_de.htm (2014), 01.11.2015, Uhrzeit 15:46.

Für das operative Geschäftsprozessmanagement ist vor allem das Unternehmenszielsystem der Organisation von entscheidender Bedeutung. Auf ihnen wird die kontinuierliche Prozessverbesserung⁹ aufgebaut. Die Unternehmensziele werden grundsätzlich in einer dreidimensionalen Ebenen-Struktur klassifiziert. Die normative Linie bildet die Vision im Rahmen der Analyse von Unternehmenspolitik, -kultur und -natur ab.¹⁰ Die strategische Ebene durchläuft die Unternehmens-, Geschäfts- und Qualitätsleitlinien der Organisation im Rahmen der Analyse von Stärken, Schwächen,¹¹ Chancen und Risiken¹² der Umgebung. Die Unternehmensstrategie ebnet den Weg für die operative Ebene indem sie die Handlungsanleitung zur Erreichung der Finanz-, Kunden-, Lern-, Innovations- und Prozessziele vorgibt.¹³ Die Inhalte beruhen auf Analysevorgängen von Märkten, Projekten, Benchmarks und Produkten. Es gestaltet sich jedoch als schwierig, Optimierungsmaßnahmen und deren Auswirkungen unmittelbar an den Unternehmenszielen zu messen. Aufgrund dessen wird in Abhängigkeit qualitativer und quantitativer Kriterien die Unternehmensziele nach funktionalen und finanziellen Gesichtspunkten beschrieben. Zugunsten der Vollständigkeit werden die sozialen Kriterien in die Betrachtung aufgenommen, jedoch haben diese Aspekte für gegenständliche Arbeit nur sekundären Charakter.

⁹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 77.

¹⁰ Vgl. Hungenberg (2012), S. 25 ff.

¹¹ Vgl. Hungenberg (2012), S. 142 ff.

¹² Vgl. Hungenberg (2012), S. 89.

¹³ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 122.

2.1. Qualitative Unternehmensziele

Bestärkt aus den strategischen Vorgaben hat sich das Unternehmen zur wettbewerbsstärkenden Entwicklung folgende Unternehmensziele gesetzt:

Funktionale Ziele	Finanzielle Ziele	Soziale Ziele
Aspekt: Leistung	Aspekt: Wirtschaftlichkeit	Aspekt: Mensch
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses ▪ Optimale Gestaltung der zeitlichen und sachlogischen Abfolge der Aufgaben. ▪ Senkung der Durchlaufzeit vom Beginn der Produktentwicklung bis zur Produktauslieferung um schneller vom Input zum Output zu gelangen und die Gefahr von negativen Terminabweichungen abzuwenden. ▪ Steigerung der Produktivität aller wertschöpfenden Tätigkeiten durch kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen. ▪ Hohe Kundenzufriedenheit durch Flexibilität, Dynamik und maximalen Qualitätsbewusstsein. ▪ Senkung der Stillstandszeiten durch objektive, abteilungsübergreifende und transparente Ablaufplanung. ▪ Senkung der Fehlerquote durch Einführung von Prozessstandards. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durch die taktische und operative Weiterentwicklung der Kunden- und Prozessorientierung sowie die Einführung strategischer Varianten-Bewertungsverfahren wird eine nachhaltige Unternehmenswertsteigerung im Rahmen einer prägnanten Kosten- und Terminüberwachung angestrebt. ▪ Sensibilisierung der Mitarbeiter für einen effektiveren und schonenderen Umgang mit den Unternehmensressourcen, damit Investitionen möglichst ohne Fremdkapital getätigt werden können. ▪ Steigerung der Liquidität um krisenbedingt handlungs- und entscheidungsfähig zu bleiben. ▪ Reduktion der Schnittstellen innerhalb der Aufbauorganisation. ▪ Senkung der Verwaltungskosten durch Automatisierung der Prozessabläufe in der Ablauforganisation. ▪ Erlössteigerung. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Übereinstimmung zwischen den Zielen des Unternehmens und der Mitarbeitenden durch die Schaffung überschaubarer, gut führbarer Aufgabenbereiche und die Stärkung der Eigenverantwortlichkeit. ▪ Personalentwicklung im Rahmen prozessorientierten Denkens und Handelns. ▪ Sicherung der Arbeitsplätze. ▪ Aufgabengerechte Übertragung der Kompetenzen und Verantwortungen auf tiefere Hierarchiestufen durch quantitative Zielvorgaben.

Tabelle 1: Unternehmensziele 2014¹⁴

2.2. Quantitative Unternehmensziele

Das Kernproduktportfolio des Beispielunternehmens liegt in der kundenspezifischen Sonderanfertigung von Bergwerksmaschinen, -Anlagen, Montagevorrichtungen und allgemeinen Sondermaschinen begründet. Bei unzureichender Auftragslage greift das Unternehmen grundsätzlich auf Lohnarbeiten des allge-

¹⁴ In Anlehnung an Hanschke und Lorenz (2012), S. 149.

meinen Metall- und Maschinenbaus zurück um dennoch Umsätze zu generieren. Die folgenden Umsatz- und Ertragsziele stellen die ersten Eckpfeiler der Finanzentwicklung dar:

- **Umsatz 2013:** Steigerung von rund 2,4 Millionen Euro im Jahr 2014 auf ca. 3,2 Millionen Euro im Jahr 2018
- **Umsatzrendite** Überschreitung der 2,4 %-Marke im Jahr 2013 und Ausbau auf mind. 4,5 % nach Steuern bis zum Jahr 2017

Gemessen an den durchschnittlichen Branchenmaßstäben liegt das Unternehmen im Vergleich zu seinen Mitbewerbern deutlich unterhalb der marktüblichen Benchmark von ca. 5 %. Um Rückschlüsse auf die notwendigen Maßnahmen zu erhalten, müssen die Einflusskriterien bezugnehmend der Umsatzrentabilität¹⁵ identifiziert werden. Um die Diskrepanz des Ergebnisses abzuschwächen, wird nicht der Gewinn, sondern das ordentliche Ergebnis für den Bewertungsmaßstab angewendet.

$$\text{Umsatzrentabilität} = \frac{\text{ordentliches Betriebsergebnis}}{\text{Umsatz}} * 100 \%$$

Bei unveränderten Zielpreisen deutet diese Kennzahl auf die Produktivität im Unternehmen hin.¹⁶ Um den Zielforderungen gerecht zu werden, ist eine Untersuchung der Perioden- und Wettbewerbsberichte erfolgs- und entscheidungsweisend. Jedoch lassen sich negative Abweichungen in der Organisation nur im Nachhinein feststellen. Infolgedessen ist eine Anpassung der eingeschlagenen Strategie durch zuvor analysierte und bewertete Entscheidungsszenarien bereits zu spät. Um diese Defizite auf kurzfristiger Sicht abzuschwächen, werden zumindest auf operativer Ebene Werkzeuge integriert, die Entscheidungssituationen quantitativ erklärbar machen.

¹⁵ Vgl. Stelling (2009), S. 170.

¹⁶ Vgl. Stelling (2009), S. 169 f.

2.3. Erfolgsfaktoren in der Ablauforganisation

Der Nährboden für den wirtschaftlichen Erfolg der Organisation schlummert in der Wahl der richtigen Erfolgsfaktoren. Denn bevor eine Prozessanalyse für die bevorstehenden Entscheidungsprozesse abgewickelt werden kann, muss jeder Prozess auf seine eigene spezifische Umgebung untersucht werden. Demzugrunde liegen die Erfolgsfaktoren nämlich verschlüsselt in den Kunden, Mitarbeitern, Lieferanten und Prozesseigner. Unter anderem können diese Faktoren durch den Einsatz interdisziplinärer Teams aus Prozessspezialisten aufgespürt werden. Relevante Erfolgsfaktoren sind Diejenige, aus denen im Rahmen der Unternehmenszielorganisation indirekt konfliktfreie Prozessoptimierungsziele abgeleitet werden können.¹⁷ Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf Erfolgsfaktoren der Produktion wie Prozesskosten (Herstellkosten) sowie Prozesszeiten, wobei die Prozessrisiken der ständige Wegbegleiter dieser beiden Faktoren sind. Indirekt fließt die Prozessqualität in die Leistungsparametrierung mit ein. Werden die Betrachtungsebenen in die nächstgelegene Stufe konkretisiert, so zählen:¹⁸

- kurze Durchlaufzeiten der Produktionsprozesse
- Senkung der Prozesskosten je Prozesselement oder Prozessvariante
- Kommunikationsverbesserung zwischen den Abteilungen
- Flexibilität der Produktentwicklung und Produktion
- Effizienz der Ablauforganisation
- Betriebssicherheit der einzelnen Produktionsprozesse
- Lieferpünktlichkeit und Schnelligkeit

zu den bestimmenden Erfolgsfaktoren. Die Faktoren Zeit und Kosten werden in dieser Arbeit umfassend durchleuchtet, da besonders Zeitfaktoren relativ leicht messbare Prozesskenngrößen darstellen und die Fehleranfälligkeit, die von Kostenrechnungssystemen ausgeht, minimieren.¹⁹

¹⁷ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 70.

¹⁸ In Anlehnung an Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 166.

¹⁹ Vgl. Stelling (2009), S. 157.

3. Analyse der internen Produktentstehungsperspektive

In diesem Kapitel werden grundlegende Bereiche des operativen Geschäftsprozessmanagements behandelt. Um schlüssige Beziehungszusammenhänge verstehen zu können, werden die strategischen Kernbausteine des Geschäftsprozessmanagements eingearbeitet. Der primäre Untersuchungsbereich dieser Arbeit konzentriert sich bewusst in die Ablauforganisation der Produktion. Ihr Prozessergebnis drückt sich nämlich über die Effizienz der Leistungserstellung aus.²⁰ Effizienz bedeutet vor allem, dass Prozesse mit minimalsten Ressourceneinsatz zu erfüllen sind, gemäß dem Grundsatz „do the things right“. Dementsprechend werden folgende Disziplinen priorisiert behandelt:

- **Ablauf:** Die Prozessabläufe werden so in ihrer Reihenfolge geplant, dass es zu keine bzw. nur minimalen Engpässen²¹ und Überlagerungen kommt und die Bearbeitungszeiten stets kurz gehalten werden. Das erklärte Optimierungsziel ist die Einhaltung der geplanten Terminmeilensteine²² bzw. die Einhaltung des vereinbarten Auslieferungstermins.
- **Produkt, Material und Werkzeug:** Das zu fertigende Zwischen- bzw. Enderzeugnis ist so zu verändern bzw. zu optimieren, dass nachweisbare Verbesserungen im Sinne einer Objekt-Optimierung zu Stande kommen.
- **Aufgabe:** Die Zuständigkeiten sind gemäß den Prozessaktivitäten klar zu definieren.

Die Analyseverfahrensmethodik innerhalb der internen Produktentstehungskette inkludiert nachstehende Phasen in chronologischer Reihenfolge sortiert:

²⁰ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 14.

²¹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 260.

²² Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 89.

- 1) Optimierungsziele bestimmen: Problemlösung oder Leistungserhöhung innerhalb der Prozesskette²³.
- 2) Prozessmodellierung organisieren: Ist-Modellierung und Dokumentation leiten die Prozessorientierung ein.²⁴
- 3) Prozessanalyse durchführen: Die Ist-Analyse umfasst die Bestimmung von Einflussgrößen, Kennzahlen und das Auffinden von Schwachstellen.²⁵

Als ersten Schritt analysiert der Prozessbeauftragte die Unternehmensziele und leitet daraus Vorgaben für die Optimierung von Prozessen und Varianten ab. Interne Bestimmungen und Best Practice ermöglichen die Festlegung der Zielgrößen, wobei ein Konsens zwischen den Prozesszielen und den Unternehmenszielen bestehen muss.²⁶ Zielkosten bzw. Zeitvorgaben stellen für den Bewertungsprozess bedeutende messbare Planwerte dar. Für das Ziel der Prozessentwicklung ist es ausschlaggebend, sämtliche Geschäftsprozesse der Produktentstehung einer Industrieanlage zu erfassen, zu visualisieren, zu analysieren, Einflussgrößen und Kennzahlen zu definieren und die Prozesselemente zu quantifizieren. Der Ausgangspunkt für die operative Ebene beginnt mit der Implementierung einer Modellierungsbasis für die Integration effizienter Prozessvarianten.²⁷

Der Untersuchungsgrad der **Ist-Modellierung** beschränkt sich auf die Prozessabbildung. Die Prozesse oder Varianten, die zeit- und kostenintensive Charakteristiken aufweisen werden priorisiert behandelt, um sie entsprechend den Zielvorgaben zu stabilisieren.²⁸ Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass jeder Optimierungsversuch zum Best Practice scheitert, wenn sich die Optimierungsaktivitäten nur auf interne Untersuchungen beschränken. Das liegt zumeist daran, dass die Ist-Modellierung bzw. im Anschluss die Ist-Analyse

²³ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 120.

²⁴ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 121.

²⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 80.

²⁶ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 70.

²⁷ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 38.

²⁸ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S.58.

betriebsintern über Workshops, Mitarbeiterinterviews und Erhebungsbögen erhoben wird und als vermeintlich gutes Konzept angesehen wird. Die Gefahr einer Scheinoptimierung liegt aufgrund fehlender Organisationsabgrenzung nahe. Aufgrund dessen werden vor allem externe Vergleichsmaßstäbe für zielbewusste Optimierungsmaßnahmen herangezogen.

Benchmarks bestimmen sich durch Bestleistungen und ermöglichen die Identifizierung von Konkurrenten oder Branchenfremden, die in Form von Leistungsunterschieden in der Prozessausführung sowie in ihren Methoden und Abläufen signifikant besser agieren als das eigene Unternehmen und deshalb richtungsweisende Denk- und Arbeitsweisen vorgeben.²⁹ Die naheliegende Branchenkonformität zwischen den Benchmarking-Partnern und dem eigenen Unternehmen versprechen konstruktive Optimierungsansätze, die im Zuge eines direkten Leistungsvergleiches der Produktionsprozessabwicklung ersichtlich werden. Den Vergleichsmaßstab bilden zentrale Steuerungsgrößen der Prozesse, deren Vergleichsergebnisse Unterschiede in der Prozessausführung zwischen den Unternehmen aufzeigen.³⁰ Zu den Steuerungsgrößen gehören unter anderem Prozessleistung, Prozessausführung, Prozessbestandteil und Veränderungen. Das Benchmarking liefert hieraus die quantitativen Leistungsinformationen die beispielsweise über absolute Kennzahlen wie Prozesskosten oder Durchlaufzeiten bewertet werden.³¹ Ergänzend kann durch die Verhältnisbildung relativer Kennzahlen die Ursache-Wirkungsbeziehungen verschiedener Sachverhalte erklärt werden. Der gemessene Leistungsindex zeigt, ob sich das Unternehmen auf die richtigen Kernprozesse konzentriert bzw. diese auch beherrscht. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass die Relativzahlen falsch interpretiert werden.

²⁹ Vgl. Mertins und Kohl (2009), S. 19 f.

³⁰ Vgl. Siebert und Kempf (2008), S. 15.

³¹ Vgl. Sabisch und Tintelnot (1997), S. 59 f.

Kurzum verantwortet die begleitende Prozessanalyse, -gestaltung und -messung die Lokalisierung von Leistungslücken bzw. Schwachstellen in der operativen Ausführung und liefert über Schlüsselkennwerte Hinweise zu deren Veränderung. Nach einer erfolgreichen Identifikations-, Analyse- und Bewertungsphase der Best Practices lassen sich maßgeschneiderte Maßnahmen zur Verbesserung der internen Methoden nachvollziehen und abschließend die wertvollsten Praktiken umsetzen.³² So gilt das Prozess-Benchmarking als Schmiede für zukunftsorientierte Zielvorgaben.

3.1. Optimierungsziele dieser Arbeit

Den Schwerpunkt der Optimierungsanstrengungen setzt diese Dissertation in den Einflussbereich der Effizienz und i.w.S. auf die Produktivität³³ der Prozesse. Die Produktivität ist ein Maß für den wirtschaftlichen Einsatz von Ressourcen zur Leistungserstellung, wobei diese in zweiter Instanz die Effektivität direkt beeinflusst. Oberstes Gebot ist es, im Auftrag der Prozessorientierung qualitativ hochwertige Erzeugnisse im Sinne der Kundenzufriedenheit und des Kundennutzens zu schaffen, aber gleichzeitig das veranschlagte Kosten- und Zeitbudget nicht zu überschreiten. An dieser Stelle muss an das Kostenbewusstsein jedes einzelnen Mitarbeiters appelliert werden. Das wichtigste Ziel der Prozessorientierung ist nämlich immer die Senkung der Gesamtkosten.³⁴ Deshalb soll auch die Aufbauorganisation an die wertschöpfenden Prozesse ausgerichtet werden und nicht umgekehrt. Aus den Optimierungszielen werden produktionsspezifische Kennzahlen zu einem System für die quantitative Bewertung und Steuerung der bedeutendsten wertschöpfenden Prozesse, in Bezug auf Zeit, Kosten und Optimierungsgrad, geformt. Die Zieldefinition der Prozessoptimierung ist immer Ausgangspunkt für entsprechende Optimierungsansätze.

³² Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 111 f.

³³ Vgl. Schlink (2014), S. 6.

³⁴ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 134.

Eine Variante zur Ableitung von Prozessoptimierungszielen bezieht sich auf die bereits debattierten Unternehmensziele. Die dokumentierten Erfolgsfaktoren werden gemäß den Erkenntnissen aus der Prozessanalyse im jeweiligen Prozesselement gewichtet. Diese Vorgehensweise bezweckt die Definition der Prozessziele und erreicht zugleich die Priorisierung der Erfolgsfaktoren.³⁵

	Prozess 1 "Konstruktion"			
	Auswirkung Faktor auf Unterprozess (0: nicht, 1: schwach, 2: stark)			
	<i>Prozesskosten (Faktor 1)</i>	<i>Prozesszeit (Faktor 2)</i>	<i>Prozessqualität (Faktor 3)</i>	<i>Prozessrisiko (Faktor 4)</i>
PE 1.1 Planen	1	2	0	1
PE 1.2 Konzipieren	2	2	1	2
PE 1.3 Entwerfen	2	2	2	1
PE 1.4 Ausarbeiten	2	2	1	1
Gewichtung (Σ)	7	8	4	5

Tabelle 2: Ableitung leistungsbestimmender Prozessoptimierungsziele am Beispiel des Konstruktionsprozesses³⁶

Je höher die numerische Gewichtung der Erfolgsfaktoren³⁷ im jeweiligen Prozesselement angesetzt wird, umso höher ist der Grad der vorgezogenen Optimierungsentscheidung. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass dem Erfolgsfaktor Prozesszeit in der Produktentwicklung die höchste Priorität zu Teil wird. In gleicher Weise können so auch die Prozessoptimierungsziele im Produktionsprozess ermittelt werden. Dahingehend wirken die Erfolgsfaktoren wie Parameter, die Optimierungsmaßnahmen auf Prozessebene quantitativ erklärbar machen. Die Gewichtungskennwerte zeigen, wie stark sich negative Prozessausführungen auf die Prozesselemente auswirken. Die Voraussetzungen auf eine erfolgsversprechende Prozessoptimierung sind in den gezielten und klar definierten Schwerpunktsetzungen begründet und äußern ihren Wirkungsbereich mittel- und langfristig in der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.³⁸

³⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 70.

³⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Fiedler (2008), S. 42.

³⁷ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 50.

³⁸ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 112.

Qualitative Zielsetzungen:

- Analyse der Konstruktionsvarianten durch Simulation, wodurch Leistungslücken und Konflikte in der Gestaltungsebene lokalisiert, aber alle wichtigen Funktionen nach der Optimierung zum Best-Case beibehalten werden.
- Analyse-, Bewertung- und Steuerung unterschiedlich einsetzbarer Materialarten
- Analyse-, Bewertung- und Steuerung unterschiedlicher Fertigungsmöglichkeiten
- Analyse- und Bewertung von Outsourcing-Vorhaben
- Analyse- und Bewertung der Maschinenstundenkalkulation als Kalkulationsrechenmethode

Die Implementierung der Best-Case-Situationen setzt im Rahmen der Prozessoptimierung positive Kosten- und Terminentwicklungen innerhalb des Produktentwicklungs- sowie des Produktionsablaufes voraus.

Quantitative Zielsetzungen

Die Faktoren Zeit und Kosten³⁹ sind in den Fertigungsprozessen sowie in den vor- und nachgelagerten Geschäftsprozessen zu untersuchende Leistungskriterien. Die Kenntnis über Durchlaufzeiten und Kostenverläufen, welche sich während der Ausführung unternehmensspezifischer Produktionsaktivitäten entwickeln, erzeugen Sicherheit, Steuerbarkeit und Transparenz in der Anlagenprojektierung.⁴⁰ Die Unkenntnis dieser Faktoren ist wiederum mit monetären Nachteilen verbunden und sorgt für Konfliktsituationen auf Prozess- und Unternehmensebene. In diesem Hinblick muss der prozessbeauftragte Ingenieur entwicklungs- und konstruktionsbedingte Einflussgrößen auf die Herstellung stets in seinen Definitionen berücksichtigen. Ein möglicher Kriterienkatalog kann exemplarisch, wie in der Auflistung aus Tabelle 3 ersichtlich, erfasst werden. Zugleich verweist diese Zusammenstellung auf die wahren Optimierungsziele in der Produktentstehung.

³⁹ Vgl. Schulte-Zurhausen (2014), S. 76 ff.

⁴⁰ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 122.

Aufgabenstellung:	▪ Anforderungen (Abwägung der Kosten/Nutzen)	%	↓
Konzept/prinzipielle Lösung:	▪ Werkstoffart (hochwertige Materialien)	%	↓
	▪ Zahl und Art der Wirkflächen	%	↓
	▪ Maßtoleranzen	%	↓
	▪ Komplexität	%	↓
Baugröße: (Materialeinzelkosten)	▪ Abmessungen	%	↓
	▪ Werkstoffmenge	%	↓
	▪ Materialausbeute	%	↑
Stückzahl: (Materialeinzelkosten)	▪ Standardisierung	%	↑
	▪ Teilevielfalt (Materialgemeinkosten)	%	↓
	▪ Normteile	%	↑
	▪ Kaufteile	%	↑
Fertigungs- und Montagetechnologie: (Fertigungseinzelkosten)	▪ Werkstoffart	%	↓
	▪ Stückzahl	%	↑
	▪ Baugröße	%	↓
Fertigung: (Fertigungseinzelkosten)	Fertigungslohnkosten:	%	↓
	▪ Maschinenarbeit	%	↑
	▪ Halbzeuge (Werkstoffe mit fertigen Oberflächen)	%	↑
	Durchlaufzeiten:	%	↓
	▪ Rüstzeit	%	↓
	▪ Hauptprozessdurchlaufzeit	%	↓
	- Bearbeitungszeit	%	↓
	▪ Nebenprozessdurchlaufzeit	%	↓
	- Komplexität	%	↓
	- Maßtoleranz	%	↓
	▪ Mehrmaschinenbedienung	%	↑

Tabelle 3: entwicklungs- und konstruktionsbedingte Einflussgrößen auf die Herstellung - Optimierungsziele in der Produktentstehung⁴¹

⁴¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 166.

In der Regel kann der Detailkonstrukteur die übergeordneten Einflussfaktoren wie Baugröße und Stückzahl nur bedingt ändern. Dadurch treten vorwiegend Einflussgrößen wie Fertigungslohnkosten, Durchlaufzeiten, Werkstoffart, Wirkflächen- und Toleranzbestimmungen in den Vordergrund.

3.2. Bildung eines interdisziplinären Teams

Die Bildung eines interdisziplinären Teams aus den unternehmenseigenen Facharbeitskräften und Prozessspezialisten des Untersuchungsbereiches signalisiert den Anfang prozessorientierten Handelns auf Unternehmensebene. Innerhalb dieses Teams werden die Ist-Modellierung, die Ist-Analyse sowie die Soll-Analyse forciert. Auf diese Weise soll die Schnittstellenredundanz beseitigt bzw. größtenteils abgeschwächt werden, wodurch fehlerhafte Datentransfers durch außenstehende Prozessbeteiligte vermieden werden können.⁴² An dieser Stelle definiert das Prozessteam unternehmensspezifische Zielvereinbarungen im Rahmen von Zielkosten und Zielterminen. Dieses System ähnelt einem Kennzahlensystem und verfolgt zielstrebig die Senkung der Entwicklungs- und Herstellkoeffizienten innerhalb der Produktentstehung. Der große Vorteil ist, dass die Informationen für das Instrument direkt von den Prozessverantwortlichen bezogen werden können.⁴³

⁴² Vgl. Stelling (2009), S. 156.

⁴³ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 265.

3.3. Schlüsselprozesse in der Produktentstehung

Prozesse, die für den direkten Produktentstehungsprozess zwingend erforderlich sind, umfassen in erster Linie die integrierte Produktentwicklung (Entwicklung und Konstruktion). Aufgrund des Kerngeschäftsfeldes der Organisation wird der Produktentstehungsprozess um den Produktionsbereich erweitert und als ganzheitlicher Kernprozess detailliert abgebildet.⁴⁴ Die Gestaltung des strategischen Geschäftsprozesskonzepts markiert den Beginn der Prozessorientierung. Der Modellierungsrahmen umfasst vor allem die organisationsinterne Geschäftsprozessebene, stellt aber auch vereinzelt unternehmensübergreifende Prozessverknüpfungen zur Unternehmensumwelt her.⁴⁵

Das Ist-Modell reflektiert die gegenwärtige Prozesssituation innerhalb der Organisation. Inhaltliche Punkte der Ist-Modellierung sind jene Prozesse, die sich über direkt und indirekt wertschöpfende Charakteristiken definieren und sich manipulierend auf die ablauforganisatorische Strukturen auswirken. Mit der heutigen dynamischen Marktsituation ist der Spielraum für nachlässige Prozessfähigkeit innerhalb der Unternehmensgrenzen sehr eng geworden. Das Unternehmen selbst bündelt ein System von durchgängigen, funktionsübergreifenden Prozessen, das sich über Wechselbeziehungen mit Kunden und Lieferanten organisiert.⁴⁶ Sie verfolgen Zielbestimmungen, die zur effizienten Erfüllung der Kundenbedürfnisse beitragen sollen. Im Beisein aller involvierten Prozessakteure werden die direkt und indirekt wertschöpfenden Schlüsselprozesse aufgenommen und aktiv modelliert.⁴⁷

⁴⁴ Vgl. Bracht, Geckler und Wenzel (2011), S. 82.

⁴⁵ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 77).

⁴⁶ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 74).

⁴⁷ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 81.

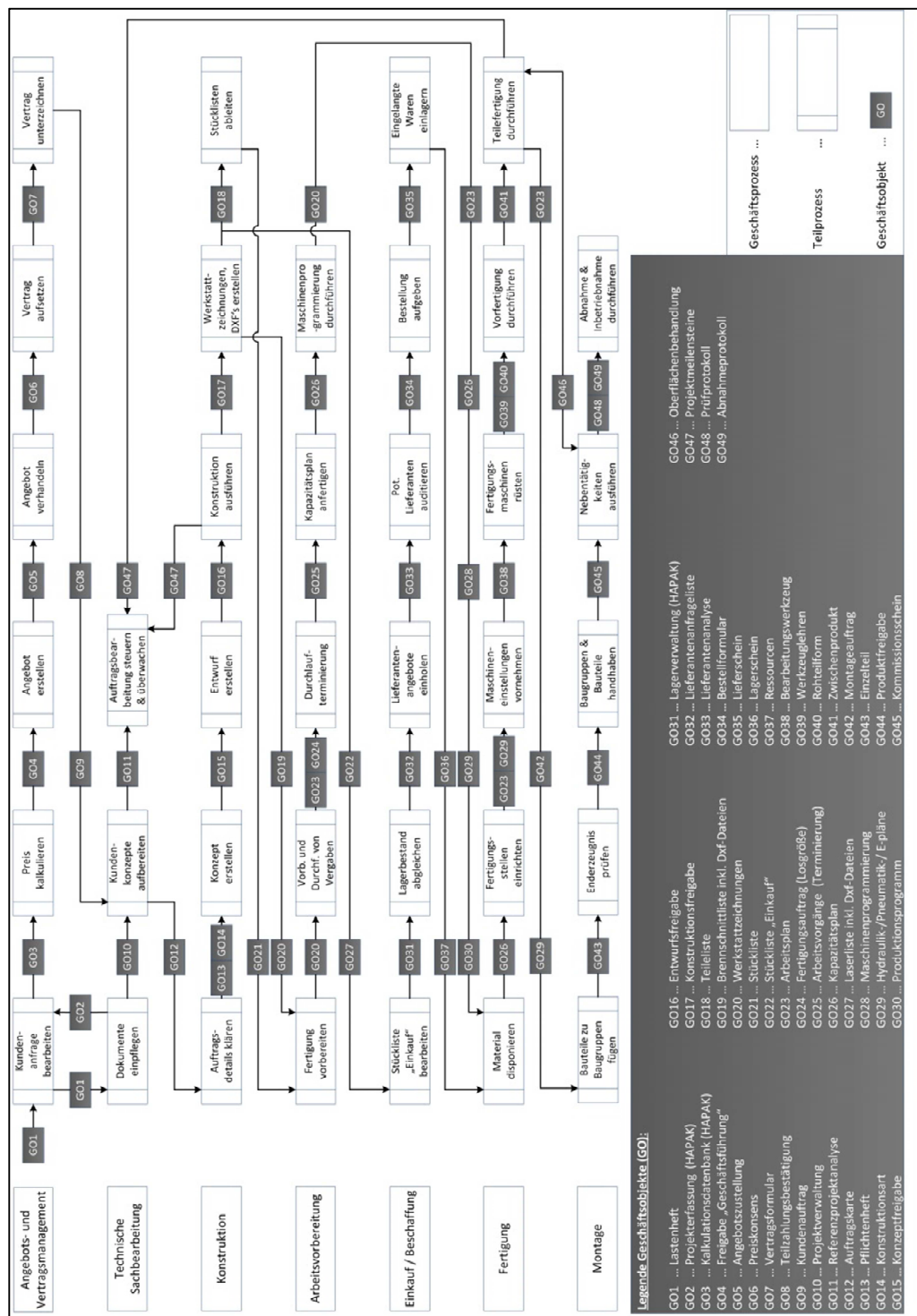


Abbildung 2: Die Kernprozessmodellebene des Unternehmens als erweiterte Prozesslandkarte einschließlich der vorgelagerten Prozesse der Produktentstehung⁴⁸

Bezugnehmend Abbildung 2 werden die wichtigsten Schlüsselprozesse des Produktentstehungsprozesses detailliert in ihrer Ablaufsystematik beschrieben.

⁴⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Hanschke und Lorenz (2012), S. 85 ff.

3.3.1. Engineering und Konstruktion

Die Produktentwicklung definiert sich in der Tätigkeit zum Lösen technischer Aufgaben. Diese Herausforderungen schließen widerspruchslös die Fachrichtungen Entwicklung und Konstruktion in die Ablaufmethodik des Maschinen- und Anlagenbaus mit ein. Die Aufgaben des Engineering- und Konstruktionsingenieurs orientieren sich an den Konstruktionszielen der zu entwickelnden Produkte. Charakteristische Konstruktionsziele sind Funktionsoptimierung, Genauigkeit, Ergonomie und Design. Des Weiteren sind für einen nachhaltigen Produktlebenszyklus Aspekte der Sicherheit, der normgerechten Montage- und Demontagefähigkeit, der Bediener- sowie der Instandhaltungsfreundlichkeit zu berücksichtigen.⁴⁹

Die Konstruktionsphasen des primären Produktentwicklungsprozesses richten sich an die klassischen VDI-Richtlinien VDI-2221 und VDI-2222 – Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten aus.⁵⁰ In Abbildung 3 sind zusätzlich die Konstruktionsarten in die Ablaufsystematik integriert.

Konstruktions- phasen \ Konstruktions- arten	Neu- konstruktion	Anpassungs- konstruktion	Varianten- konstruktion
Planen			
Aufgabenklärung			
Konzipieren			
Funktionsfindung Prinzipielerarbeitung			
Entwerfen			
Gestaltung Berechnung			
Ausarbeiten			
Zeichnungserstellung Stücklisterstellung			

Abbildung 3: Zuordnung von Konstruktionsphasen zu den Konstruktionsarten⁵¹

⁴⁹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.41 f.

⁵⁰ Vgl. Fischer (2008), S. 4.

⁵¹ Vgl. Conrad (2013), S. 43.

Durch die Neuorientierung der Organisation ist die praxisübliche Variante bei kundenspezifischen Projekten überwiegend die Neukonstruktion. Neukonstruktionen erfordern die gesamte Palette der Konstruktionsphasen, von der Planung über dem Entwurf am Reißbrett bis hin zur ausgearbeiteten Freigabekonstruktion mittels CAD erstreckt sich die Ablaufsystematik. Die Aufgabenstellung des Kunden wird vorab durch das Pflichtenheft präzisiert, wobei sich die Anforderungen im Laufe der Produktentstehung jederzeit ändern können.⁵² Die Lösungsansätze zur Erfüllung der einzelnen Teilfunktionen beruhen zum Großteil auf physikalischen, mechatronischen und werkstofftechnischen Kriterien. Bei erfolgter Freigabe werden Konzeptvarianten ausgearbeitet, subjektiv bewertet und das erfolgversprechendste Konzept festgelegt und für den Entwurf freigegeben.

In der nachfolgenden Phase, dem Entwurf, reduziert der Schaffende das Risiko von Fehlplanungen und Mehrfachkonstruktionen, in dem der Vorabzug der Konstruktion über Differentialgleichungen und Algorithmen gelöst wird. Dadurch lassen sich dynamische Belastungsfälle simulieren. Analog zu diesen computergestützten Rechenoperationen wird das statische Profil der Konstruktion über FEM-Analysen⁵³ präzisiert. Die gewonnenen Ergebnisse sollen Optimierungsansätze für die endgültige Ausarbeitungskonstruktion liefern.

Letztendlich können für die Fertigung, Einzelteil- als auch Baugruppenzeichnungen sowie Montagepläne abgeleitet werden.⁵⁴ Diese Vorgehensweise richtet sich zum Großteil an das bewährte Standardprozedere der VDI-Richtlinien. Die Praxis hat gezeigt, dass beim fertigungstechnischen Ausarbeiten und Detaillieren vor allem die angeeigneten Kenntnisse effizienter Fertigungsprozesse und das sichere Beherrschen bewährter Gestaltungsmethoden ausschlaggebend für den erfolgreichen Abschluss des Konstruktions- und in weiterer Folge des Produktionsprozesses sind.

⁵² Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 84.

⁵³ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 131.

⁵⁴ Vgl. Conrad (2013), S. 15.

Abschließend werden aus den übergeordneten Baugruppenzeichnungen Stücklisten abgeleitet, die bereichsspezifisch in separate Stücklisten aufgelöst und in der Datenbank abgelegt werden.⁵⁵ Im Zuge der Stücklistenfreigabe bekommen die Abteilungen, Arbeitsvorbereitung und Einkauf die entsprechenden Zugriffsrechte erteilt. Gleichzeitig extrahiert der Konstrukteur aus der Anlagenkonstruktion die deklarierten Brennschnittteile und konvertiert diese zweidimensionalen Bauteilabbildungen in ein für die Brennschnittsoftware importfähiges Datenformat, das einheitlich im DXF-Format abgelegt wird. Die als Dreh- bzw. Frästeil definierten Bauteil- und Baugruppenkonstruktionen stehen im freigegebenen Zustand für die weiterführende CAM-Programmierung der Arbeitsvorbereitung zur Verfügung.⁵⁶ In diesem Entwicklungsstadium weiß der projektbetraute Entwicklungsingenieur weder über Kosten noch über mögliche Zeittendenzen Bescheid.

3.3.2. Produktion / Fertigung

Die Arbeitsvorbereitung übergibt den Arbeitsvorrat bzw. den Fertigungsauftrag einschließlich aller zugehöriger Arbeits-, Werkstatt-, und Montageplänen in ausgedruckter Form den Abteilungsleitern. Anschließend werden den zuständigen Facharbeitern die fachbereichsspezifischen Arbeitspläne ausgehändigt, die notwendigen Materialien zugewiesen und die Fertigungsdurchführung besprochen. Vorab werden grundlegende Begriffe des Produktionsprozesses erläutert.

- **Der Arbeitsvorgang** verkörpert eine in sich nicht weiter zerlegbare Arbeitstätigkeit, wie Fräsen, Drehen, Gewinde schneiden, Abkanten, Einrollen, Plasma-/ Autogenschneiden, Sägen und anderer wertschöpfender Arbeitsverrichtungen. Jeder Arbeitsvorgang verlangt den Einsatz von Unternehmensressourcen in Form von sachlichen, finanziellen und personellen Inputs. Dabei wird besonderes Augenmerk auf den Zeitbedarf, entsprechend der Dauer einer Ressourcenbelegung durch Neben-, Rüst- und Bearbeitungszeit, gelegt. Dabei spielt eine genau geplante Ablaufplanung eine wesentliche

⁵⁵ Vgl. Conrad (2013), S. 15.

⁵⁶ Vgl. Conrad (2013), S. 261.

Rolle für eine rüstungsreduzierte Maschinenbelegung. Die Werkstücke müssen reihenfolgeabhängig so in ihrer Fertigungsfolge gegliedert werden, damit Umrüstungsvorgänge der Bearbeitungsmaschine möglichst minimal gehalten werden.⁵⁷

- **Der Arbeitsplan** bildet reihenfolgeabhängige Arbeitsvorgänge ab, dessen Darstellungsgehalt den Werdegang eines Bauteils vom Rohzustand in den Endzustand beschreibt.⁵⁸
- **Der Fertigungsauftrag** wird anhand zeitlich bestimmter Arbeitspläne zur Herstellung mengenspezifischer Vor-, Zwischen oder Enderzeugnisse ausgeschrieben. Dabei definiert sich ein Fertigungsauftrag immer durch seinen Arbeitsplan und den Endzeitpunkt des letzten Arbeitsvorganges. Demzufolge hängt die Fertigungsdurchlaufzeit wesentlich von ihrem Herstellungsstatus (Begonnen, Unterbrochen oder Fertig) ab. Zwingende Voraussetzung für die Ausführung von Fertigungsaufträgen sind gültige Arbeitspläne, die Vorgabezeiten für Teilprozesse oder Elementarprozesse sowie die Reihenfolge der Abarbeitung enthalten.⁵⁹
- **Der Arbeitsvorrat** ist eine Menge von freigegebenen Fertigungsaufträgen. Dabei werden voneinander unabhängige Fertigungsaufträge verstanden, die als Gesamtheit für die Ablaufplanung betrachtet werden müssen.

Die Aufgabenstellung definiert die Stückzahlen und die Genauigkeit der geforderten Bauteile. Im Zuge einer detaillierten Prozessbeschreibung⁶⁰ werden die einzelnen Fachbereiche in Allgemeiner Stahlbau und Blechbearbeitung, Auto- gen- und Plasmabrennschnitt, Drehen und Fräsen abgegrenzt voneinander dargestellt.

⁵⁷ Vgl. Glaser, Geiger und Rohde (1992), S. 202.

⁵⁸ Vgl. Weber (2009), S. 206.

⁵⁹ Vgl. Herlyn (2012), S. 131 f.

⁶⁰ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 118.

(1) Fachbereich – Allgemeiner Stahlbau und Blechbearbeitung

Zu Beginn der Arbeitstätigkeit werden die erforderlichen Fertigungsmaschinen, gemäß den periodisch wiederkehrenden Kontrollen, auf Betriebsmittel und Funktionsabweichungen überprüft und entsprechend korrigiert. Im Prozessschritt **„Maschineneinstellungen vornehmen“** gibt der Facharbeiter anhand der Werkstattzeichnungen die operativen Maschinenbefehle in das Bedienmodul der Abkantpresse ein. Der Schweißer fällt grundsätzlich in die Kategorie Montage bzw. Vormontage. Er hat jedoch in dieser Phase die Aufgabe, am Schweißgerät Gaszufuhr, Stromabgabe und Drahtvorschub, gemäß den in der Zeichnung angeführten Schweißanweisungen, einzustellen. Bei Anwendung der Blechschere muss der Mitarbeiter nur die Blechstahldicke als Bearbeitungsvariable in das Bedienpanel der Maschine eingeben. Die Inbetriebnahme der Einrollmaschine setzt zusätzlich noch die Eingabe des Einrollradius und der Anpresskraft voraus. Die Einstellungen zum Profilsägen verlangen ausschließlich eine am Stahlprofil angepasste Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit. Gleiches gilt für die Bohrstation.

Der Prozessschritt **„Rüsten“** umfasst im Bereich Blechbearbeitung in Abhängigkeit des vorgegebenen Biegeradius das Einsetzen unterschiedlicher Abkantmatrizen und Abkantstempels in die dafür vorgesehenen Spanneinsätze der Abkantpresse. Der Schweißer hat dafür Sorge zu tragen, dass eine intakte Schweißdüse sowie ein werkstoffkonformer Schweißdraht eingesetzt sind. Generell gilt, dass für den ergebnisorientierten Bearbeitungsprozess, werkstückopportune Werkzeuge in die Maschinen zum Einsatz kommen.

Nach dem Rüstvorgang kann mit einer potenziellen **„Vorfertigung“** begonnen werden, die unter anderem Abkantarbeiten oder den Zuschnitt von Stahlträgern, Formrohren und anderen Stahlprofilen gemäß der Schnittlistenoptimierung vorsieht. Sägen ist als Trennverfahren vor allem bei Rund- und Walzprofilen wirtschaftlicher. Bei höheren Stückzahlen bezwecken Werkzeuglehren mit aufgebauten Positionieranschlängen eine Verkürzung der Produktionszeit sowie die Gewährleistung gleichartiger Baugruppen und Bauteile. Des Weiteren werden in diesem Bearbeitungsgang Schweißvorbereitungen gemäß der

angegebenen Schweißanweisung vorgenommen. Schweißvorbereitungen umfassen unter anderem das Anschleifen der Bleche an den Verbindungsstellen.

Der nächste Teilprozess impliziert die „**Teilefertigung**“, die ihre Bearbeitungsinformationen aus den Werkstattzeichnungen beziehen. Je nach Fertigungsverfahren erhalten hier vorgefertigte Bauteile und Rohteile beispielsweise durch Gewindeschneid- oder Bohrverfahren ihren finalen Bearbeitungszustand und werden entsprechend ihrer ausgewiesenen Oberflächenbehandlungen und Montagefolgen disponiert.

(2) Fachbereich – Autogen- und Plasmabrennschnitt

Die Vorbereitungsphase „**Maschineneinstellungen vornehmen**“ beabsichtigt die Prüfung der Sollwerte für den Füllstand der Gas- und Kühlflüssigkeitsbehälter. Für die Maschineneinstellungen erhält der Facharbeiter von der AV einen Arbeitsplan bzw. Brennschnittplan, der alle entscheidungsrelevanten Plandaten enthält. Die Abfolge der Schneidpläne sollte gemäß der fortlaufenden Schneidplannummer abgewickelt werden. Die rechnerunterstützten Schnittdaten werden aus dem Server in den Maschinenspeicher geladen. Die Art der Bearbeitung, Plasmaschnitt oder Autogenschnitt, richtet sich nach der Blechgüte, Blechstärke, Bearbeitungsgeschwindigkeit und Maßhaltigkeit der zu fertigenden Stücke.

Das **Rüsten** kann bei hochfrequentiert zu fertigenden Großteilen durch den Einsatz von Einspannvorrichtungen für das am Maschinentisch aufgelegte Blech beginnen. Dadurch lässt sich der Verzug des zu bearbeitenden Bleches, hervorgerufen durch die zugeführte Wärmeenergie, kontrolliert verhindern. Ansonsten wird das Blech lose auf den Maschinentisch gelegt und dessen Nullpunkt via Laserstrahl aufgenommen. Ist die Positionierung des Stahlbleches aufgrund verschlissener Auflagegitter nicht mit den zulässigen Toleranzen möglich, müssen neue Auflageschienen in die Einsatzkerben montiert werden. Abhängig von der Blechgüte, der Zündimpulse und der Stromzufuhr müssen beschädigte Brennschnittdüsen und Zündeinheiten zeitlich gewechselt werden.

Der Teilprozess „**Vorfertigung**“ erzeugt Zwischenprodukte, die vorwiegend zur Rohmaterialerstellung dienen und in weiterer Folge bei Stahlbau-, Fräs- und Dreharbeiten weiterverarbeitet werden. Die **Teilefertigung** ist analog zur Vorfertigung und wird allein von ihrem zu Grunde liegenden Schneidplan bestimmt, der gleichermaßen den endgültigen Bearbeitungsstatus widerspiegelt. Die geschnittenen Teile werden im Anschluss entgratet und disponiert. Je nach Ausbildungsgrad ist das Teil bereits nach dem Schneidvorgang versandbereit oder es wird in einem nachgelagerten Arbeitsprozess, wie dem Einroll-, Kant-, Dreh-, Fräs-, oder Schweißprozess fertiggestellt. Bei erfolgreicher Abwicklung des Schneidplanes bucht das System die bearbeitete Blechtafel aus dem Lagerbestand ab. Ökonomisch vertretbares Restmaterial wird ab einem gewissen Materialausnutzungsgrad und Querschnitt vom Facharbeiter eigenverantwortlich in die Blechtafel Datenbank elektronisch eingepflegt.

(3) Fachbereich – Drehen

Die **Maschineneinstellungen** werden anhand der Vorgaben des Arbeitsplanes, der Einzelteilzeichnung sowie den zusätzlichen Parametereinstellungen der Facharbeiter, über das Bedienpanel in den Maschinenspeicher einpflegt. Die Software kann den Verarbeitungsprozess gezielt visualisieren, aber nicht simulieren. Dabei besteht immer ein gewisses Restrisiko, dass das Werkzeug über die Grenzen hinausfährt und es unter Umständen zu Kollisionen zwischen Werkzeug und Bearbeitungsmaschine kommen kann. Diese Zwischenfälle lassen sich auch nicht über Präventivmaßnahmen minimieren und zählen somit zu den personenbezogenen Fehleinwirkungen.

Die **Rüstvorgänge** erfolgen unter Eigenregie und kennzeichnen vorbereitende Arbeitstätigkeiten (Zeichnung lesen, Werkzeug holen oder Werkzeug spannen, einrichten, Vorrichtung holen oder spannen). Die in der Programmierung hinterlegten Werkzeugzuweisungen müssen unbedingt eingehalten werden. Das Sortiment an Rüstmittel reicht von Drehmeißel über Stechmeißel bis hin zu Fräsköpfen und Bohr- und Gewindeschneideinheiten.

Vorgefertigte Halbzeuge werden für nachgelagerte Montagearbeiten verwendet die erst im Anschluss ihren letztgültigen Verarbeitungsstatus durchlaufen.

Der **Hauptfertigungsprozess** liefert durch bauteilspezifisches Plan-, Rund-, Gewinde- Profil-, oder Abstechdrehen den finalen Zustand des Erzeugnisses und wird bei positiver Prüfung disponiert.

(4) Fachbereich – „Fräsen“

Die **Vorbereitungstätigkeiten** verlangen die Überprüfung des Kühlflüssigkeitspegels. Die Spannvorrichtung und der Maschinentisch müssen frei von Spänen und Flüssigkeitsrückständen sein. Für gewisse Fräsarbeiten reichen konventionelle Spannvorrichtungen des Maschinenherstellers nicht aus. In diesen Fällen hat die Fachkraft eigenständig die Planung und Herstellung eines individuellen Spannsystems durchzuführen. Der Facharbeiter verbessert zusätzlich die Parameter für Rotationsgeschwindigkeit, Nullpunkt und Rauigkeitswert im Rahmen der in der Bauteilkonstruktion hinterlegten NC-Programmierung. Des Weiteren definiert er die Positionsnummern der im Werkzeugrevolver einzusetzenden Werkzeuge. Bei erfolgreich durchlaufener Computersimulation des Bearbeitungsprozesses exportiert der Rechner die Datensätze in den Speicherort der NC-Fräsmaschine.

Ist die Ausführung der Einspannmaßnahmen geklärt, wird für die Fertigung das Rohmaterial in diese Vorrichtung eingespannt. Die **Rüsttätigkeiten** fallen in diesem Bereich der Fertigung anspruchsvoller aus. Jedes Werkzeug muss in die vorprogrammierte Position eingebaut sein, da der automatische Werkzeugwechsler nur die im NC-Programm hinterlegten Stellungen abruft. Deshalb sind ordnungsgemäße Rüstmaßnahmen maßgebend für den fehlerfreien Durchlauf der Befehlskette erforderlich.

Vorfertigungsprozesse kennzeichnen sich durch die Fertigung von Einheiten mit Materialaufmaß. Diese Werkstücke gelangen erst im Anschluss von Montageprozessen zu ihrem endgültigen Bearbeitungszustand. Außerdem fällt in den Zuständigkeitsbereich dieses Teilprozesses die Herstellung von Spannvorrichtungen, welche für die eigentliche **Teilefertigung** teilweise benötigt werden. Die Befehlsausführung der Bearbeitungsmaschine folgt chronologisch den programmierten Zeilenverlauf und sorgt für eine sukzessive Spanabtragung am Rohmaterial. Der Vorgang endet, wenn sämtliche Stufen der Befehlskette

durchlaufen sind. Das Enderzeugnis wird einer Sicht- und Maßprüfung unterzogen und bei positiver Begutachtung auftragsbezogen abgelegt.

3.3.3. Montage

Durch Montage werden die Bauteile zu Baugruppen zusammengefügt bzw. mit Maschinen und Geräten verknüpft. Montagetätigkeiten fallen überwiegend bei Fügeprozessen zwischen zwei oder mehreren Bauteilen, oder beim Zusammenbau eines technischen Systems an. Der Montageprozess mechatronischer Systeme klassifiziert sich in mehrere aufeinander folgende Montageschritte.

Für den Montageprozess werden eigens angefertigte Montage- oder Baugruppenzeichnungen ausgehändigt, deren Einzelteile stücklistenorientiert herangezogen werden. Auf Basis der Pläne stellt der Facharbeiter vor allem durch Schweißprozesse, Unterbaugruppen für nachfolgende Bearbeitungsprozesse her. Vor jedem Schweißprozess sind jedoch Vorbereitungsmaßnahmen wie Bleche ausschneiden, Schweißnahtvorbereitungen erzeugen, Einzelteile gemäß Baugruppenpositionen ausrichten und heften, abzuwickeln. Nachgelagerte Elementarprozesse sind unter anderem Schleifen, Entgraten und Prüfen. In der Endmontage erfolgt der Zusammenbau aller vormontierten Baugruppen durch Verbindungselemente zum endgültigen technischen System. Dimensionale Grenzen der Spediteure zwingen Anlagebauer, große Anlagen nur in vormontierte Einheiten an den Kunden zu liefern.

Im finalen Zustand wird die Konstruktion im Rahmen einer selektiven Sicht- und Messüberprüfung auf Anzahl, Maßhaltigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Form- und Lagegenauigkeit überprüft. Das Prüfen kann vor, zwischen und nach der Montage stattfinden, schließt aber auch die Funktionskontrolle mit ein. Das Handhaben spielt vor allem bei Bauteilen ab 750 kg eine große Rolle und definiert sich durch Lager-, Transport- und Positioniertätigkeiten der Bauteile und Baugruppen für den Zusammenbau. Den Montageprozess begleiten Nebentätigkeiten wie zum Beispiel Oberflächenbehandlungen.

Spezifische Oberflächenanforderungen der Bauteile und Baugruppen bedürfen einer Demontage des technischen Konstrukts. Diese Tätigkeiten dürfen aber erst nach dem erfolgreichen Probe- bzw. Prüfverlauf durchgeführt werden. Zusammengefasst besteht der Montageprozess immer aus den Teilprozessen Fügen/Zerlegen, Prüfen⁶¹ und Handhaben.⁶²

3.4. Analyse der Produktionsprozesse

Grundsätzlich werden die Prozesse und Abläufe der betrieblichen Leistungserstellung intern betrachtet. Dabei werden innerhalb des interdisziplinären Teams jene Schlüsselprozesse und Einflussfaktoren der Produktionsorganisation analysiert, die sich besonders zeit- und kostenmanipulierend auf die entwickelten Konstruktionsvarianten auswirken. Rückwirkend wirken sich die Fehler in der Detailkonstruktion negativ auf die Prozessorganisation und den langfristigen Unternehmenserfolg aus.

Zu Beginn werden allgemeine Einflussgrößen der Produktentstehung bestimmt bevor die eigentlichen Untersuchungsobjekte (Fertigungsprozesse) im Rahmen der wertmäßigen Zuordnung analysiert werden.⁶³ Begleitend zur Dokumentation werden fertigungsspezifische Einflussgrößen identifiziert und festgelegt. Die Erkenntnisse werden analog für die Analyse der Konstruktionsvarianten angewendet, da sie die Produktionsprozesse direkt beeinflussen. Die Analyseaktivitäten zeigen neben der Ablaufstruktur, auch den Einsatz von Ressourcen mit denen die Leistung erbracht wird. Gegenwärtig ist der entscheidende Rohstoff den es zu beherrschen gilt, Information.⁶⁴ Darauf aufbauend wird der zukünftige Fokus vor allem in die Verknüpfung sämtlicher prozessinvolvierter Mitarbeiter, Kunden, Unternehmenspartner und Lieferanten des Produktentstehungsprozesses gelegt, um eine intelligente Prozesssicherheit zu schaffen. Die Grundlagen, die der Prozessbeauftragte zu klären hat, können wie folgt aufgelistet werden:

⁶¹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 82.

⁶² Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 115.

⁶³ Vgl. Stelling (2009), S. 156.

⁶⁴ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 30.

- Wie lange dauert die Abwicklung des Ist-Prozesses und kann die Zeitspanne, um vom Input zum Output zu gelangen, durch die Umsetzung des Soll-Konzeptes gesenkt werden?⁶⁵
- Was kostet die Abwicklung des Ist-Prozesses und können die Kosten durch die Umsetzung des Soll-Konzeptes gesenkt werden?
- Wo liegt prinzipiell die Schwachstelle der Prozessausführung oder des Prozesselements in der Prozesskette?
- Werden Prozesskosten, Prozesstermine bzw. Prozesszeiten für eine bestimmte Leistung eingehalten? Wie markant sind deren Abweichungen?
- Existieren Zielkonflikte⁶⁶ innerhalb der Schnittstellenordnung?

Sinngemäß können diese Zielfragen auf die Konstruktionsebene umformuliert werden. Zu den vielversprechendsten Analysemethoden zählen Berechnungen, Kennzahlenvergleiche und Simulationen. Diesbezüglich werden in erster Linie inhaltlich äquivalente aber zugleich strukturell unterschiedliche Ablauf- und Variantenszenarien identifiziert. Durch die Prozess- und Variantenvergleiche ist es möglich, dass bei der Identifizierung überflüssiger oder falsch ausgeführter Prozesse oder Detailausführungen, falsch verwendeter Betriebsmittel und Fertigungsverfahren oder bei komplexen und aufwendig zu erstellenden Bauteilkonstruktionen Beschleunigungspotentiale⁶⁷ aufgegriffen werden können.

3.4.1. Bestimmung der allgemeinen Einflussgrößen

(1) Material

Die Bedeutung des Materials spiegelt sich im Verbrauch der eingesetzten Rohmaterialien wider. Ausschlaggebendes Kriterium ist der Komplexitätsgrad des Gesamtsystems, inwieweit sich die Materialkosten zu den Gesamtherstellkosten auswirken.⁶⁸

⁶⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 71.

⁶⁶ Vgl. Fiedler (2008), S. 101.

⁶⁷ Vgl. Dimitrellou, Diplaris und Sfantsikopoulos (05-06/2007), S. 519.

⁶⁸ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 199 f.

Im vorliegenden Untersuchungsprojekt handelt es sich um eine allgemeine Vorrichtung des Maschinenbaus mit mittlerem Komplexitätsgrad der Funktionalität. Aus diesem Sachverhalt lässt sich ferner schließen, dass die Gesamtkosten im Verhältnis wenig aufwändige Bearbeitungsschritte enthalten und somit die Lohnkosten prozentual geringer ausfallen.⁶⁹ Zur Ermittlung der benötigten Materialressourcen sind 2 Komponenten, nämlich die Mengen- und die Preiskomponente, von Relevanz. Aus diesem Grund muss eine exakte Messung des Materialverbrauchs einschließlich dessen preismäßiger Bewertung durchgeführt werden. Die Verbrauchsmengen können aus dem Informationsgehalt der CAD-Konstruktionen äußerst präzise ermittelt werden. Die Planbarkeit der CAD-Informationen geht so weit, dass sogar der Nutzungsgrad des Rohmaterials bestimmt werden kann.

Grundsätzlich orientieren sich die Möglichkeiten zur Beeinflussung des Zielsystems an die beiden Kostenparameter Rohmaterial (gemessen in Gewichtseinheiten bzw. Volumeneinheiten) sowie den spezifischen Rohmaterialkosten (Kosten/Rohgewicht bzw. Volumen).⁷⁰ Aus gemeinkostenorientierter Sicht ist eine enge Zusammenarbeit mit dem Abteilungsbereich Einkauf und ausgewählten Stammlieferanten anzustreben, damit bei intensiven Kaufanteilen durch genormtes Material bzw. Gleichteile oder Teilefamilien günstigere Kosten erreicht werden können. Wie ein derartiges Zusammenspiel zum Kostensenken geplant werden kann, sollte in Tabelle 4 der bewährtesten Szenarien für Reduzierungsmaßnahmen fündig werden.

⁶⁹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 200.

⁷⁰ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 201.

Rohmaterialkosten senken	
Bruttogewicht [kg] bzw. Bruttovolumen [m³]	Kosten/Gewicht K_v (Rohmaterialkostensatz)
Kleinbau oder Leichtbau: Ziel ist die Schaffung günstiger Konstruktionsbedingungen im Rahmen der Verwendung hochfester Materialien und konstruktive Gestaltung kürzest möglicher Kraftflüsse damit Zug/Druck-Beanspruchungen die Biegebeanspruchung substituieren. Unbedingt symmetrisch aufgebaute Konstruktionen anstreben.	Kostengünstiges Material verwenden: Halbzeuge, fertigungsgünstiges Material (Achten auf Bearbeitbarkeit), im Unternehmen gängige Werkstoffarten einführen (Werksnorm)
Sparbau: Die Zielsetzung tendiert zur Verringerung der Wandstärken. Prinzipiell müssten Fertigungsverfahren ständig hinterfragt werden, wobei grundsätzlich die Regel gilt: Abkantteile müssen den Schweißbaugruppen vorgezogen werden.	Oberflächenbehandeltes Material verwenden: Beispielhaft können bereits verzinkte Bleche verwendet werden. Sie sind unwesentlich teurer als unbehandeltes Rohmaterial
Verschwendung und Abfall senken: Fertige Oberflächenmaterialien für spanend bearbeiteten Teile verwenden (Stahlrohre verwenden um Materialausbeute zu erhöhen => Drehteile möglichst nicht aus Vollmaterial fertigen => siehe Anhang: Zeichnungsnummer 0394_13_80_004). Dimensionen so wählen, dass z.B. Blechteile so konstruiert werden, dass das Blechformat möglichst vollständig ausgenützt wird => endkonturnah konstruieren => Ausschuss verringern!	

Tabelle 4: Materialkosten senken⁷¹

Für Stähle unterschiedlicher Festigkeitswerte gilt in Abhängigkeit der Beanspruchungsformen, vorzugsweise für zug- oder druckbeanspruchte Teile (überwiegend Bolzenmaterial), folgender Beziehungszusammenhang:⁷²

$$\frac{K_v \left[\frac{EUR}{kg} \right]}{R_m \left[\frac{N}{mm^2} \right]} \Rightarrow \frac{EUR}{kg} * \frac{mm^2}{N}$$

R_m ... Mindeststreckgrenze Material [N/mm²]

Der Gebrauch höherfester Stähle bewirkt, dass sich die höheren Materialkosten aus ganzheitlicher Sicht eher rentieren als günstigere Materialien, die größere gestalterische Umgebungen erfordern. Dieser Sachverhalt ist nur gültig, wenn ansonsten keine weiteren Faktoren für den Anforderungsbereich des Bauteils wie Schweißbarkeit, Zähigkeit oder Verschleißfestigkeit gefordert werden. Diesbezüglich gestaltet sich eine mathematische Ausdrucksform äußerst schwierig,

⁷¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 202.

⁷² In Anlehnung an Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 202 f.

wenn nicht sogar unmöglich, da spezifische Werkstoffkenntnisse notwendig wären.⁷³

Wenn die Einflussmöglichkeiten des Faktors Bruttogewicht ausgereizt sind, müssen Maßnahmen auf Seiten der spezifischen Materialrohkosten getroffen werden. Die spezifischen Materialrohkosten beruhen in der Kalkulationsmethode auf durchschnittliche Marktpreise. Unberücksichtigt bleiben Mindermengenzuschläge sowie Mengennachlässe der Lieferanten. Die Lieferantenrabatte beherbergen indes für die endgültige Zielkostenbetrachtung ein wesentliches Kostensenkungspotential.⁷⁴

(2) Gestalt

Die Gestalt repräsentiert die Gesamtheit aller geometrischen Eigenschaften eines Bauteils oder einer Baugruppe. Zu den äußeren Merkmalen zählen Abmessung, Flächengestaltung, Maschinenelemente (Passfedernut, Sicherungsringnut, Gewinde, usw.) und Toleranzen, die wesentlichen Einfluss auf die Kosten- und Terminstrukturen ausüben.⁷⁵ Die Gestaltung der Bauteil- bzw. Baugruppenkonstruktion durchläuft sämtliche Stufen des Konstruktionsprozesses, wobei die finale Gestaltung grundsätzlich in der Entwurf- und Ausarbeitungsphase festgelegt wird. Der Idealzustand wäre, dass für jede Bauteil- und Baugruppenkonstruktion mehrere Varianten gesucht, systematisiert, analysiert, bewertet und in die optimierten Zusammenstellungen übergeführt werden.

(3) Statik

Das statische Profil der Konstruktion bestimmt im Wesentlichen die Dimensionierungen der Bauteile und wird in der Entwurfsphase festgelegt. Sie zeigen die Grenzen auf, denen die Konstruktion durch mechanische, thermische, wie auch strömungsbedingte Beanspruchungsarten ausgesetzt ist. Von der Konstruktionsgestaltung (z.B. Sicherheitselemente) bis hin zu den Materialstärken sowie die Positionierung und Anzahl notwendiger Versteifungen kann die Statik im

⁷³ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 203.

⁷⁴ Vgl. Wannenwetsch (2009), S. 9.

⁷⁵ Vgl. Dimitrellou, Diplaris und Sfantsikopoulos (05-06/2007), S. 519.

Fälle falsch ausgeführter Berechnungen grundlegende Stolpersteine in den Weg für die Entwicklung zukünftiger Herstellstrukturen legen. Deshalb bedarf es zum Teil zweifacher, voneinander unabhängiger Absicherungsmaßnahmen zur Erstellung des statischen Entwurfs. Diese Vorkehrungsmaßnahmen könnten zur Verringerung des Risikos der maßlosen Kostenüberschreitung beitragen.

(4) Baugröße

Einen starken Einfluss auf die Kostenentwicklung hat die Baugröße des Produktes.⁷⁶ Beispielsweise steigen mit der Größe des zu verarbeitenden Bauteils bzw. Baugruppe die Rüstzeiten und erfordern mehr Zeit im innerbetrieblichen Transport. In Abhängigkeit des Gewichts bedarf es oftmals den Einsatz des Hallenkrans, dessen Anwendung wiederum einen sprunghaften Anstieg der Rüstzeiten verursacht.⁷⁷ Die Auswirkungen des Komponentengewichts lassen sich über gewichtsabhängige Mittelwerte quantitativ erklären. Zum Beispiel werden Rüstzeiten einer bestimmten Bezugsgröße (z.B. Baugruppe mit 40 kg → ab 40 kg wird der Einsatz des Hallenkrans bzw. eines weiteren Mitarbeiters erforderlich) definiert und multipliziert diese Ausgangsgröße mit entsprechenden masseabhängigen Exponenten.⁷⁸

Für Gewichtsspanne 1 - 40 kg gilt:	Ohne Hilfsmittel $t_{r1} = t_{r0} * \varphi_{G1}^{0,5}$
Für Gewichtsspanne 41 - 80 kg gilt:	Einschließlich Helfer $t_{r1} = t_{r0} * \varphi_{G2}^{0,7}$
Für Gewichtsspanne 80 – 2.000 kg gilt:	Hallenkran klein $t_{r1} = t_{r0} * \varphi_{G3}^{0,9}$
Für Gewichtsspanne 2.000 – 8000 kg gilt:	Hallenkran groß $t_{r1} = t_{r0} * \varphi_{G4}^{1,5}$

Aus den abgeleiteten Gewichtsklassen⁷⁹ können firmenspezifische Wachstumsgesetze ausgedrückt werden. Mit abweichenden Basiswerten kann diese Gesetzmäßigkeit auf die Bearbeitungskosten übertragen werden.

⁷⁶ Vgl. Dimitrellou, Diplaris und Sfantsikopoulos (05-06/2007), S. 519.

⁷⁷ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 122.

⁷⁸ In Anlehnung an Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 185.

⁷⁹ In Anlehnung an Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 185.

(5) Stückzahl

Der Einflussfaktor der Stückzahlen auf die Kosten (Fixkostenverteilung je Bauteil) ist überwiegend in der Serienfertigung präsent. Aufgrund des fehlenden Stückzahleffekts liegt das Einsparungspotenzial wenn überhaupt im minimalen Prozentbereich. Ausschließlich mit den rationell arbeitenden Maschinen kann die Organisation eine Degressionswirkung erreichen. Um auf die Gesamtbaugruppe eine größere Anzahl an Gleichteilen zu erhalten, ist eine Umkonstruktion auf größere Stückzahlen für die rationelle Fertigung mit angemessenem Kostensenkungspotenzial ratsam. In Anbetracht der Produktentstehung werden nicht nur die Zeitstrukturen der Fertigungsaktivitäten positiv beeinflusst, sondern reduzieren vielmehr die Komplexität unterschiedlicher, aber in ihrer Gestalt eventuell gleichartiger Bauteile. Positiver Nebeneffekt ist, dass die Fehlerquote in der Konstruktion, AV und Fertigung beziehungsweise des Umgangs abgebaut wird. Es werden im Grunde Elementarprozesse (Details in den Arbeitsplänen, Einzelteilzeichnungen, Werkstattzeichnungen,...) eingespart. Im Zuge der Zeiterhebung und Kostenrechnung müssen zuvor verschiedene Begriffsdefinitionen geklärt werden:

- Stückzahl S (gesamte produzierte Stückzahl eines Bauteils in einer bestimmten Zeit)
- Anzahl der Lose z
- Losgröße n ($\sum n = S$), aufgrund der geringen Einzelstückzahlen im Anlagenbau werden diese im eigenen Unternehmen oftmals nur in einem Los gefertigt ($n = S$). Vereinzelt wird die Gesamtstückzahl in mehrere Lose, zum Teil auch mit unterschiedlicher Anzahl, aufgeteilt. Dieser Umstand beruht auf fertigungsbedingten Grenzen, die sich nach den Abmessungen der Blechformate unterordnen müssen. Dadurch muss die Gesamtanzahl der Teile auf mehrere Bleche aufgeteilt werden.⁸⁰
- Charge: Menge eines Materials (z.B. Bauteil), das in einem einheitlichen Fertigungsvorgang erzeugt wird. In gegenständlicher Arbeit ist die Charge mit der Losgröße gleichzusetzen.⁸¹

⁸⁰ Vgl. Jung (2010), S. 494.

⁸¹ Vgl. Jung (2010), S. 494.

Stückzahlrelevante Vorgänge Primär werden die Herstellkosten, die bei der Fertigung der Losgröße n eines Erzeugnisses ($\sum n = S$) entstehen berücksichtigt.

- **Kostendegression durch Aufteilung einmaliger Kosten:** Die Rüstkosten, die durch die Losgröße zu teilen sind, bilden im Unternehmen die Kostendegression durch die Stückzahl ab. Je nach Rüstkostenanteil, gemessen an den Fertigungskosten fallen die Auswirkungen der Kostendegression schwächer oder stärker aus.⁸²
- **Kostendegression durch leistungsfähigere Fertigungsverfahren (Prozesse):** Jeder Fertigungsprozess ist in Abhängigkeit der zu fertigenden Bauteile anders zu bewerten, da rationelle Maschinen ab gewisse Stückzahlen kostengünstiger produzieren.⁸³ Werden z.B. zwei NC-Trennschnittverfahren (Plasma- und Laserstrahlverfahren) miteinander verglichen, so ergibt sich in Bezug auf die Fertigungskosten und der in einer gewissen Zeitspanne produzierbaren Stückzahlen folgender mathematischer Ausdruck:⁸⁴

$$FK2 = FK1 * \frac{1}{\sqrt[3]{\frac{n2}{n1}}}$$

Hieraus lässt sich schließen, ab welcher Stückzahl die rationellere Methode wirtschaftlicher ist als das Verfahren, mit den niedrigeren einmaligen Kosten. Diese Kostendegression ist relativ unabhängig von der Art des Erzeugnisses.⁸⁵

⁸² Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 178.

⁸³ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 127.

⁸⁴ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 181.

⁸⁵ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 181.

(6) Leistungstiefe – Eigenfertigung oder doch Zukauf

Die Wahl zwischen Eigen- und Fremdfertigung richtet sich immer an die Strategie des Unternehmens. Je nachdem wie die Kernkompetenzen ausgerichtet sind sollte jede Konstruktionsvariante einer Analyse unterzogen werden, um etwaige Zielkonflikte über Strategieanpassungen auszuhebeln. Ausschlaggebende Ambitionen für die Eigenfertigung sind abhängig von:⁸⁶

- Strategischer Bedeutung (Kernkompetenz)
- Innovation
- Stückzahleffekt
- Anwendung bei Simultaneous Engineerings innerhalb der Produktentstehung (paralleler Ablauf zwischen Konstruktion und Fertigung)
- Standardisierungsgrad (bei hoher Standardisierung => Fertigung auslagern)

Als ausführender Konstrukteur sind subjektiv getroffene Systemvarianten immer problematisch, denn oftmals werden aus Unkenntnis der Kosten- und Zeitzusammenhänge falsche Entscheidungen getroffen. Prinzipiell ist es aber auch nicht richtig, dass höhere Eigenfertigungskosten zwangsläufig schlechtere Ergebnisse liefern als offensichtlich kostengünstigere Fremdleistungen. Zumal sind in den Herstellkosten hohe Anteile an Fixkosten inkludiert, die das Unternehmen ohnehin tragen muss.⁸⁷ Ein Entscheidungsgedanke den es zu rechtfertigen gilt ist der, dass sobald die variablen Kosten pro Stück günstiger sind als die Zukaufteile, Eigenfertigung anzustreben ist.⁸⁸ Eine Unterscheidung in fixe und variable Kosten ist demnach unumgänglich. Für ein Unternehmen dieser Größe wäre eine Teilkostenrechnung aufgrund des aufwendigen und komplexen Aufbaus auch nicht die ideale Lösung. Zu berücksichtigen ist, dass beim Vergleich pro Eigenfertigung nur die Kosten die tatsächlich entstehen eingesetzt werden.

⁸⁶ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 213.

⁸⁷ Vgl. Schlink (2014), S. 126.

⁸⁸ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 214.

Als prozessorientierte Organisation ist eine Vergleichsrechnung für Entscheidungssituationen⁸⁹ zwischen Eigenfertigungs- und Outsourcing-Initiativen immer dann anzuwenden, wenn:

- der Angebotspreis augenscheinlich weit unterhalb der eigenen Herstellkosten liegt und interne Produktionskapazitäten vorhanden sind, wird Fremdbezug realistischer.
- mit Investitionen neue Produktionsfaktoren in die Produktion aufgenommen werden könnten und diese Entscheidung durch die strategische Ausrichtung des Unternehmens bekräftigt wird.⁹⁰
- Kapazitätsengpässe innerhalb der Produktionsorganisation eine termingerechte Auslieferung unmöglich machen.⁹¹

3.4.2. Prozessanalyse – Allgemeiner Stahlbau und Blechbearbeitung

In der Analysemethodik wird dem Allgemeinen Stahlbau (Sägen, Schneiden, Bohren,...) eine eher sekundäre Rolle beigemessen, da Tätigkeiten mit niedrigen Maschinenarbeitsgrad weitestgehend substituiert werden sollen. Jedoch steht bei einfach ausgebildeten Konturen das Brennschneiden als Trennverfahren in Konkurrenz zum Sägen bzw. Blechschneiden mittels Tafelschere. Sägen ist bei Rund- und Walzprofilen wirtschaftlicher. Gerade Blechkonturen wiederum werden mittels hydraulischer Tafelschere hergestellt, ansonsten ist immer das Brenn-, oder Laserstrahlschneiden den mechanischen Fertigungsverfahren vorzuziehen.⁹² Im Bereich Blechbearbeitung sind Analyseaktivitäten der Biegeverfahren bedeutend wichtiger, da sie im Rahmen wirtschaftlicher Fertigungsmöglichkeiten eine hohe Stellungnahme einbeziehen. Die wesentlichen fertigungsspezifischen Daten für Biege- und Einrollmethoden thematisieren kosten- wie auch zeitliche Aspekte der Blechbearbeitung.

⁸⁹ Vgl. Schlink (2014), S. 107.

⁹⁰ Vgl. Schlink (2014), S. 107.

⁹¹ Vgl. Schlink (2014), S. 107.

⁹² Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 265.


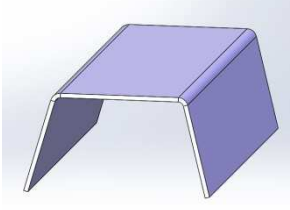
	
<p>1. Blechformat wird mittels hydraulischer Tafelschere (einfache Konturen) anstelle der CNC-Trennschnittmethode zugeschnitten.</p>	<p>2. Blech gem. Zeichnung an den Biegelinien kanten. Ansonsten müssten 3 Bleche ausgerichtet geheftet, verschweißt und anschließend verschliffen werden.</p>

Abbildung 4: Herstellmethodik eines Bauteils innerhalb der Blechbearbeitung

In Abbildung 4 wird auf die Einfachheit dieser Herstellvariante hingewiesen, da Nachbearbeitungsmaßnahmen weitestgehend entfallen.

3.4.3. Prozessanalyse – CNC-Trennschnittverfahren

Blechteile und Halbzeuge des allgemeinen Maschinenbaus werden intern vorzugsweise über Brennschnittverfahren (Autogen- und Plasmastrahlverfahren) erzeugt, deren Fabrikation auf maschinelle CNC-Bearbeitung beruht. Darüber hinaus gilt das Laserstrahlverfahren als eine gute Alternative für maßgenaue Schneidteile.⁹³ Eine weitere Methode ist das Wasserstrahlschneiden, welches für Stahlteile jedoch aufgrund der sehr geringen Schnittgeschwindigkeiten eine eher untergeordnete Rolle spielt und grundsätzlich für Stahlteile nicht angewendet wird.

Für die Rohteilherstellung wird innerbetrieblich vorwiegend die eigene Autogen- und Plasmabrennschneidanlage verwendet. Die betriebsinterne Schneidanlage kann Blechstärken bis zu 200mm bearbeiten, jedoch fällt die Kurve der Schnittgeschwindigkeit bei steigender Blechstärke stark regressiv ab. Hauptsächlich werden Bauteile und Halbzeuge plasmageschnitten, deren Schnittqualitätstoleranz im Zehntelbereich liegt. Für ca. 95 % der Blechteile entspricht

⁹³ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 264 ff.

diese Maßgenauigkeit bereits den Anforderungen für Vorrichtungen, die im Produktportfolio vorgestellt wurden. Der niedrige Anforderungsgrad bringt große Kosten- und Zeitvorteile mit sich, da nachgelagerte Fertigungsprozesse eingespart werden können.

Die Konturen der Bauteile ergeben sich durch die im Schneidplan hinterlegten **Schneidpfade**. Schneidpfade sind die Werkzeugbahnen, denen Schneidoperationen folgen und werden aus den CAD-Daten abgeleitet. Abbildung 5 stellt eine derartige Schneidkontur dar und fördert zugleich das Verständnis unterschiedlicher Schnitttechniken.

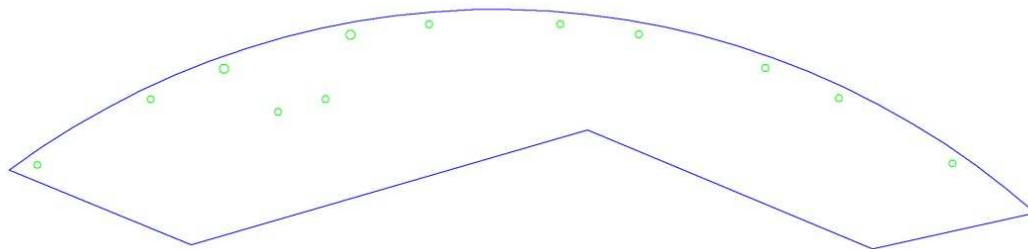


Abbildung 5: Konturabbildung (Schneidpfad) eines trennschnittbearbeiteten Bauteils
(Zeichnungsnummer 0394_13_20_009)

Die Schneidpfade werden in Längenschnitt- und Hubschnittmethode untergliedert. Die **Längenschnittmethode** bildet die Schneidpfade entlang der Werkstückaußenkonturen ab und ist standardmäßig als Schnittmethode festgelegt. In diesem Fertigungsprozess nehmen Strom- und Gasverbrauch einen konstanten Verlauf für die Gemeinkostenzuordnung ein. Demgegenüber steht jedoch die **Hubschnittmethode**, anhand derer die Anzahl der Einstiche pro Blechteil bestimmt wird. Diese Schnittmethode beeinflusst verhältnismäßig stark den Verschleiß der eingesetzten Brennschnittwerkzeuge und erhöht je Einstichzahl in unbestimmtem Ausmaß den Strom- und Gasverbrauch. Aufgrund dessen treffen die in den Gemeinkosten eingerechneten Durchschnittswerte (diese Werte sind in den Maschinenkosten enthalten) nur ansatzweise auf die tatsächlichen Kosten zu. Solange die Grenzen des Plasmabrennschnittverfahrens nicht erreicht sind, wird diese Methode dem Autogenverfahren vorgezogen, zumal

das Plasmaverfahren mindestens doppelt so hohe Schnittgeschwindigkeiten zulässt als die Alternative Methode.

Zu Beginn der Datenerhebung werden die theoretischen Plan-Schnittgeschwindigkeiten aus dem Bedienerhandbuch der Maschine in eine Datenbank eingepflegt und über die einzelnen Bauteillängen auf die Bearbeitungszeiten hochgerechnet. Während der Analyse der Arbeitspläne zeigten sich jedoch außerordentliche Abweichungen der Ist-Werte in Bezug zu den Plan-Werten. Die Plan-Daten geben um 25 % bis 40 % höhere Schnittgeschwindigkeiten an, wodurch die Messdaten an Plausibilität einbüßen. Durch konsequente Recherche konnte der entscheidende Grund für dieses Phänomen eruiert werden. Demzufolge bringen die Plan-Schnittdaten im Vergleich zur Ist-Variante die schlechtesten Schnittqualitätsperformances hervor und verursachen zudem Nachbearbeitungsaktivitäten an den Randzonen des Schnittteils. In einem weiteren Untersuchungsschritt ergaben sich durch Prozessuntersuchungen unternehmensrelevanter Zulieferer praktische Adaptionsvorgaben der Leistungsdaten für die Archivierung in die Datenbank. Die Informationen wurden über Benchmarking der Arbeitspläne ermittelt und beruhen nun auf Mittelwerte, die vorwiegend durch Parametrierung verschiedener Einstellmöglichkeiten (Stromabgabe, Gasgemisch, Qualitätsschnitteinstellungen,...), durchgeführt wurden. Durch diese Vorgehensweise konnten blechstärken- und werkstoffabhängige Mittelwerte berechnet werden. Gemessen an der Qualität⁹⁴, stellen diese Durchschnittswerte (Zeit- und Kostenangaben) die scheinbar optimalsten Einstellparameter für die Bauteilherstellung dar. Aktuell liegen die Abweichungen in einem angemessenen Toleranzbereich für Bewertungs- als auch Kalkulationstätigkeiten.

3.4.4. Prozessanalyse – Spanende Bearbeitung

Mit den NC- und CNC-Bearbeitungsmaschinen des Unternehmens lassen sich stückgleiche Bauteile äußerst maßgenau reproduzieren. Im Beisein des Abteilungsleiters, dem Maschinenlieferanten sowie dem Einkäufer dokumentiert der Prozessbeauftragte, mit welchen Maschinen, Schnittgeschwindigkeiten, Vor-

⁹⁴ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 71.

schüben, Werkzeugen, Spanmitteln, usw. die Gestaltungszonen bestimmter Bauteile in Abhängigkeit des Materials optimal hergestellt werden können. Nach der Einpflege in die Datenbank stehen diese Daten für wirtschaftliche Berechnungen zur Verfügung. Problematisch ist jedoch, dass nur einfache Bearbeitungsszenarien annähernd genau durch Formelausdrücke beschrieben werden können. Bei 3-dimensionalen oder parabolischen Fräsbewegungen stößt das individuelle Verständnis an den Grenzbereich operativen Handelns. Somit müssen diese Bearbeitungsvorgänge über Zeitaufnahmen dokumentiert werden.⁹⁵

Vorwiegend beeinflussen die Werkzeuge die Effizienz der Bearbeitungsprozesse. Aufgrund der zahlreich am Markt befindlichen Bearbeitungswerkzeuge werden diese anhand des Anwendungsbereiches auf Kosten-/ Nutzenverhältnis subjektiv bewertet. Oberstes Gebot ist es, eine Balance zwischen Kosten- und Nutzengrad bei prognostizierter Auslastung zu wahren und überflüssige Werkzeuganhäufungen unterschiedlicher Hersteller abzuwenden. In Abbildung 6, und 7 sind die am häufigsten genutzten Bearbeitungsvorgänge des Fachbereichs Spanende Bearbeitung dargestellt. Der Bohrprozess an sich wird nicht separat angeführt, da er nur vertikale Bearbeitungsbahnen beschreibt. Die präsentierte Palette beschreibt hochfrequentierte Bearbeitungsvorgänge innerhalb der Organisation.

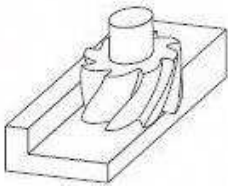
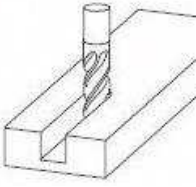
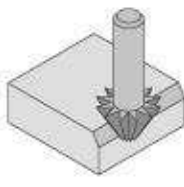
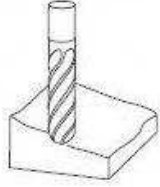
			
Planfräser: Zum Fräsen ebener Flächen und Umfangsebenen	Schaftfräser: Zum Erzeugen tiefer Nuten und Peripheriefasen	Fasenfräser: Zum Fasen und Entgraten von Werkstücken	Kugelfräser / Gesenkfräser: Zum Fräsen von Taschen und Umrissfasen

Abbildung 6: Abgrenzung der wichtigsten Bearbeitungsvorgänge beim Fräsen⁹⁶

⁹⁵ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 115.

⁹⁶ Vgl. Awiszus, et al. (2012), S. 155.

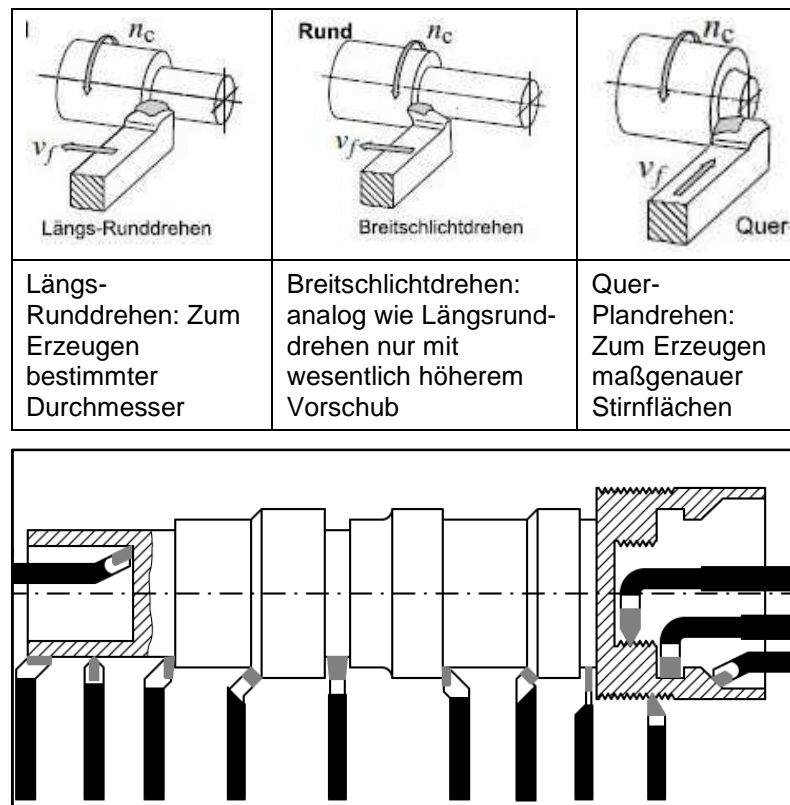


Abbildung 7: Abgrenzung der wichtigsten Bearbeitungsvorgänge beim Drehen⁹⁷

3.4.5. Prozessanalyse – Montage

Im Vorrichtung- und Anlagenbau wird das konventionelle Schutzgasschweißen (vorzugsweise MAG) als Standardvariante für Schweißprozesse verwendet. Die Analyseaktivitäten beschäftigen sich vor allem mit der Bestimmung von Lösungsansätzen zur positiven Beeinflussung der Bearbeitungszeiten, Bearbeitungskosten und Prozessrisiken. Dabei werden vor allem die Wirkbereiche nachstehender Einflussfaktoren untersucht:⁹⁸

- Werkstoff (Baustahl, hochfeste Stähle, Edelstahl, Kupferlegierungen,...)
- Zu verschweißendes Stärkenverhältnis (z.B. verschweißen eines 6 mm starken Stahlbleches mit einem 8 mm Stahlblech)
- Art der Schweißnaht (überwiegend Kehlnaht, aber auch V-Naht, Y-Naht,...)⁹⁹

⁹⁷ Vgl. Awiszus, et al. (2012), S. 148 f.

⁹⁸ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.03-1, S.1.

⁹⁹ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.03-1, S.4.

- Verschweißte Nahtmasse (Schweißnahtquerschnitt x Nahtlänge x Dichte; Anzahl der Schweißlagen möglichst gering halten)
- Verbrauch an Zusatzmaterial¹⁰⁰ (Schweißdrahtverbrauch)
- Auswirkung von Schweißunterbrechungen durch unterbrochene Schweißnähte in der gesamten Schweißnahtbahn¹⁰¹
- Auswirkung der Anzahl der zu verschweißenden Einzelteile (Blech- und Halbzeugteile) zur Erstellung der Baugruppe
- Dimension (Gewicht, Abmessungen) der Schweißbaugruppe

Aus dem Untersuchungsbericht geht hervor, dass die Schweißnahtdicke einen wesentlichen Einflusscharakter auf die Schweißgeschwindigkeit und somit auf die Schweißzeit hat.¹⁰² Gegenwärtig werden die Nahtdicken entsprechend den statischen Berechnungen des Ziviltechnikers, der prinzipiell die Schweißnähte nach den Vorgaben der maximalen Kehlnahtdicken auslegt, gefertigt. Das externe Benchmarking zeigte jedoch, dass die maximale Nahtdicke¹⁰³ zwangsweise nicht die optimalsten Ergebnisse bei statischen, wie auch dynamischen Belastungsfällen erzeugt. Des Weiteren werden wirtschaftliche Belange aus der Gesamtbetrachtung ausgeschlossen. Nichts desto trotz sollen die wahren Ist-Werte durch diese Erkenntnis nicht verschleiert werden. Die Ist-Definition für die maximale Kehlnahtdicke lautet:¹⁰⁴

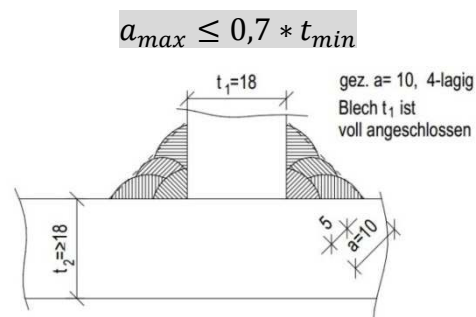


Abbildung 8: Darstellung der Kehlnahtdicke a¹⁰⁵

¹⁰⁰ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.03-1, S. 11.

¹⁰¹ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.03-1, S. 8.

¹⁰² Vgl. Wittmann, Niederer und Friedl, Patent EP 0901865-A2 (1999), [0036].

¹⁰³ Vgl. Fahrenwaldt und Schuler (2011), S. 252.

¹⁰⁴ Vgl. Fahrenwaldt und Schuler (2011), S. 242 f.

¹⁰⁵ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.03-1, S. 9.

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass die Kehlnahtdicke die Anzahl der Schweißlagen bestimmt und somit auch die Schweißzeit beeinflusst. Dieser Sachverhalt wird als interne Vorgabe für die Schweißprozessausführung berücksichtigt und wie in Tabelle 5 dargestellt ist, in Beziehung gesetzt.

		Blechstärke 1											
		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
Blechstärke 2	3	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	4	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	5	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	6	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	4 1	4 1	4 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	8	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1
	10	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	7 2	7 2	7 2	7 2	7 2	7 2	7 2
	12	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	7 2	8 3	8 3	8 3	8 3	8 3	8 3
	15	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	7 2	8 3	10 4	10 4	10 4	10 4	10 4
	20	4 1	4 1	4 1	4 1	5 1	7 2	8 3	10 4	14 8	14 8	14 8	14 8
	25	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	7 2	8 3	10 4	14 8	17 12	17 12	17 12
	30	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	7 2	8 3	10 4	14 8	17 12	21 17	21 17
	35	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	7 2	8 3	10 4	14 8	17 12	21 17	24 21

Tabelle 5: interne Vorgabe für die Bestimmung der max. Kehlnahtdicke einschließlich der Anzahl der Schweißnahtlagen (rot dargestellt)¹⁰⁶

Aus Tabelle 5 ist zu erkennen, dass die theoretische Schweißnahtdicke nie unter das a-Maß von 3 mm fallen darf. Das Unterschreiten dieses Grenzbereiches ist aufgrund der Mindest-Abschmelzleistung nicht zulässig.

¹⁰⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an die Formel für die maximale Kehlnahtdicke a_{\max} .

3.5. Schwachstellenanalyse

Grundsätzlich ist eine Schwachstellenanalyse empfehlenswert, wenn eine ausgebaute Leistungsrechnung bereitgestellt wird. Dadurch deckt eine bereichsübergreifende Schwachstellenanalyse potenzielle Schwachstellen auf und positioniert Verbesserungsinitiativen innerhalb der eigenen Prozessreihen. Die Basis für die Schwachstellenanalyse steckt somit im Ist-Modell der Prozesse. Durch die Analyse der betriebsinternen Prozessausführung werden Abweichungen der Ist-Prozessausführung zur Prozesszieldefinition aufgespürt, bewertet und auf ihre Ursachen untersucht. Schwachstellen können aber auch subjektiv lokalisiert werden, indem angesichts sich wiederholender Prozessabläufe wiederkehrende Konfliktsituationen ergeben. Die Bestimmung der Ursachen kann mit Hilfe von Checklisten oder FMEA's systematisiert werden und bildet durchaus die Grundlage für die Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten. Der Zwischenstatus ist somit:¹⁰⁷

- 1) Feststellen der Schwachstellen (Ist-Analyse)
- 2) Analyse der Ursache, die zu den identifizierten Schwachstellen führen (Gegenüberstellung von Zielabweichungen und Ursachen in einer FMEA oder Matrix)
- 3) Erarbeiten von Lösungsalternativen zur Leistungsveränderung (z.B. mit Hilfe von Kennzahlen)

Die Betrachtungsfelder liegen in den Durchlaufzeiten, also den Neben-, Rüst- und Bearbeitungszeiten sowie in der Kapazitätsplanung. Aus kostenorientierten Aspekten unterstreichen außerplanmäßige Gewinnaussichten Handlungsbedarf auf Ursachenforschung der Prozess- und Produktkosten. Die diagnostizierten Problemfelder lösen Veränderungen und Reorganisationsaktivitäten aus, die vor allem in den Bereichen Organisation, Technik und Kommunikation¹⁰⁸

¹⁰⁷ Vgl. (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 107 f.).

¹⁰⁸ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 127.

aufgegriffen werden.¹⁰⁹ Die Methode der Schwachstellenanalyse ist im Prinzip die gleiche wie die, für die Findung von Schwachstellen in der Konstruktion.

Wie wichtig ein ausbalanciertes Verhältnis der Kosten- und Zeitentwicklung anlässlich der Produktqualität ist, zeigt Abbildung 9. Sie stellt den logarithmischen Kurvenverlauf der kumulierten Kosten, der indifferenten Kurve der Möglichkeit zur Kostenbeeinflussung während der Lebensabschnittsphasen eines Produktes gegenüber.¹¹⁰

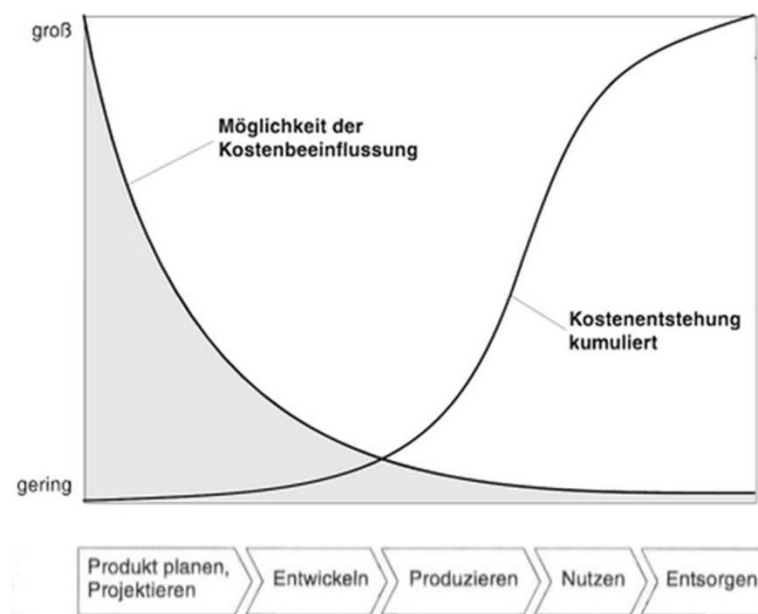


Abbildung 9: Kostenbeeinflussung während der Produktlebensphasen.¹¹¹

Die Kurvenverläufe in Abbildung 9 unterstreichen die Fokussierung der Unternehmensanstrengungen in das Anfangsstadium der Produktprojektierung und -entwicklung. Die Indifferenzkurve verweist auf das Nutzenniveau dieser Abschnittsphase in der die Kosten- und Zeitfaktoren weitestgehend unbekannt sind und besonders empfindlich auf äußere Einflussnahme reagieren. Mit Abschluss des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses stehen die erfolgsbestimmenden Herstell- und Betriebskostenzusammensetzungen qualitativ fest,

¹⁰⁹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.12.

¹¹⁰ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.12 ff.

¹¹¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.13.

auch wenn sie ohne weitere Maßnahmen nicht quantifizierbar sind. In der Produktion greifen nur noch Kostenoptimierungsansätze einzelner Prozesse auf Basis positiv bewerteter Prozessverbesserungen. Das bedeutet, dass nur noch die ökonomische Wahl der Fertigungsprozesse, Einflusscharakter auf die Kosten- und Zeitstruktur hat.¹¹² Im Zuge dieser Erhebung wird die Bedeutung von Maßnahmen zur Kosten- und Terminfrüherkennung in der Produktentwicklung deutlich. Denn das Fehlen einer quantitativen Variantenbewertung in den Konstruktionsphasen erschwert dem Entwicklungsingenieur zunehmend die Einhaltung des Kostenrahmens für kundenspezifische Projekte¹¹³.

Gegenständliche Arbeit grenzt die Schwachstellenanalyse dahingehend ein, dass die Abweichung zur Zieldefinition in der Produktentwicklung und Konstruktion gefunden wurde. Dahingehend muss der Entwicklungsingenieur die traditionelle Vorgehensweise der VDI stabilisieren, die sich derzeit gemäß Abbildung 10 strukturiert.

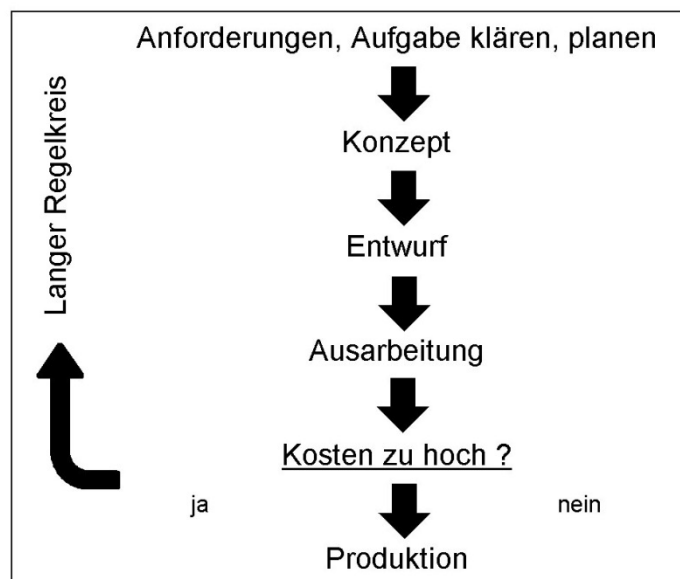


Abbildung 10: Klassische Vorgehensweise bei der Produktentwicklung¹¹⁴

¹¹² Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.13 f.

¹¹³ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 26.

¹¹⁴ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 53.

Durch die träge Verfahrensweise im Entwicklungs- und Konstruktionsablauf die in Abbildung 10 dargestellt wird, ist die Änderung der bereits von der Ausarbeitung festgelegten Kostenstruktur nur über großen finanziellen und zeitlichen Ressourceneinsatz zu bewältigen, da die Phasen Planung, Konzept, Entwurf und Ausarbeitung nochmals zu durchlaufen sind.¹¹⁵ Die Folge sind unflexible, lang andauernde und ineffiziente Regelkreise. Die Kalkulationsmaßnahmen der Konstruktionsausführungen stützen sich aktuell auf subjektiv angenommene Prognosen, die durch Angebotspreise ergänzt werden. Außerdem begünstigen die fehlenden Feedback-Mechanismen der Finanzabteilung zusätzlich die negative Prozessentwicklung im Fachbereich Entwicklung und Konstruktion. Die Struktur der VDI-2221 und VDI-2222 vernachlässigt nämlich entscheidende kostenrechnerische Perspektiven im Rahmen einer prozessorientierten Erfolgsbetrachtung und zeigt i.w.S. die Unzulänglichkeit dieser klassischen Vorgehensweise.

In weiterer Folge distanziert sich der Konstrukteur zunehmend von seiner Kostenverantwortung gegenüber der Organisation. Resultierende Fehlentwicklungen destabilisieren den Unternehmenserfolg und untergraben die Wettbewerbsfähigkeit auf nationaler wie auch internationaler Ebene. Die aufgezeigten Schwachstellen äußern sich exemplarisch durch lange Durchlaufzeiten, hohe Prozesskosten, Störanfälligkeit und den Grad des Informations- und Leistungsverlustes zwischen Input und Output. Deshalb muss der Entwicklungsingenieur dahingehend sensibilisiert werden, dass jede technische Definition immer mit einer Zeit- und Kostenfestsetzung verbunden ist.¹¹⁶ Exemplarisch unterliegt jede Kostenbestimmung einer Kostenkontrolle¹¹⁷, die wiederum auf Kostenabweichungen hinweist und für die Initiierung von Maßnahmen ausschlaggebend ist. Dieser Sachverhalt lässt sich analog auf den Faktor Zeit übertragen.

¹¹⁵ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 126.

¹¹⁶ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 127.

¹¹⁷ Vgl. Fiedler (2008), S. 196.

3.6. Schnittstellenanalyse

Im Allgemeinen geht es darum, die Schnittstelle bzw. die Barriere zwischen Hersteller, Lieferanten und Kunden zu überwinden. Im Unternehmen müssen Schnittstellen eindeutig lokalisiert und definiert werden. Dabei werden sie übergeordnet in organisatorische und technische Schnittstellen klassifiziert.

Organisatorische¹¹⁸ Schnittstellen systematisieren die interne Informationsinfrastruktur zwischen den einzelnen Teilprozessen und Verantwortungsbereichen. Die Informationseigenschaften werden überwiegend durch die Indikatoren Qualität und Zeit bestimmt. Störungen innerhalb dieses Gefüges führen zu negativen Termin- und Kostenentwicklungen. Deshalb müssen alle Wechselbeziehungen innerhalb und außerhalb der Abteilungsgrenzen erfasst und analysiert werden. Oberster Grundsatz lautet vor allem redundante Arbeit vorzubeugen. Daher soll der hohe Anteil an manueller Arbeit durch die bestehenden Insellösungen, als auch der Druck auf den Prozessinhaber mehrere Systeme gleichzeitig zu beherrschen, in der IT-Landschaft reorganisiert werden. Die bis dato unumgängliche Datenredundanz aufgrund der Mehrfacherfassung soll einer vereinheitlichten Datenarchivierung und Prozessablaufautomatisierung weichen. Bausteine des Vorsprungs sind neu definierte, bereinigte und transparente IT-Prozesse, straff strukturierte Arbeitsabläufe der Organisation und die Ausrichtung auf quantitative Variantenanalysen. Diese Bedingungen schaffen eine effiziente Kommunikations- und Informationsplattform, die zukünftig über ein webbasiertes PDM-Netzsystem operieren.

Ein weitreichend strategisches Optimierungsziel innerhalb der IT-Schnittstelle sieht nämlich die schrittweise Integration bestehender SolidWorks- und CAM-Daten sowie die Einbindung aller bestehenden Produktionsinformationen in ein einheitliches PDM-System zur effizienteren Datenverwaltung vor. Dabei werden die aus den vergangenen Geschäftsjahren erarbeiteten Datenmengen aus der bestehenden IT-Landschaft (HAPAK, FESTO FluidSim, AutoCAD, OmniWin), in das schnittstellenminimierte SolidWorks PDM-System implementiert, um die

¹¹⁸ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 315.

Transparenz zwischen den Abteilungen zu intensivieren und Medienbrüche abzuwenden.

Die **technischen**¹¹⁹ Schnittstellen verbinden sämtliche geometrischen, stofflichen- und verbindungstechnischen Eigenschaften eines Bauteils bzw. einer Baugruppe und ergänzen prinzipiell die allgemeinen Einflussgrößen.

- Geometrie-Schnittstellen kennzeichnen im Grunde die Materialausbeute zwischen Rohling und Enderzeugnis. Toleranzdefinitionen der Konstruktion bestimmen als erfolgsentscheidender Einflussfaktor die Gesamtwirkung auf das Endergebnis. In die Zielbetrachtung werden die Grundregeln der Konstruktion beachtet, die folgende Instruktionen für den Prozessbeauftragten gibt: „*So fein wie nötig, so grob wie möglich.*“¹²⁰
- Stoff-Schnittstellen charakterisieren den direkten Transformationsprozess in der Produktentstehung durch den Einsatz von Produktionsfaktoren. Sie definieren die Stoffeigenschaft, den Einflusszeitpunkt sowie die Stoffmenge im jeweiligen Wirkungsbereich.
- Energie-Schnittstellen kennzeichnen den mechanischen und elektrischen Ressourcenverbrauch.

Dieser Sachverhält klärt auch, warum die technische Schnittstelle für den ausführenden Konstruktionsingenieur von entscheidender Bedeutung ist. Das abteilungsübergreifende Know-how, welches über das interdisziplinäre Team gesammelt und offengelegt wurde, hilft nun die einzelnen Subsysteme zu einem Gesamtsystem zusammenzuführen und mehrere Varianten aufzudecken und zu simulieren.

¹¹⁹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 316.

¹²⁰ Vgl. Hesse, Krahn und Eh (2012), S. 87.

4. Modellierung des Soll-Konzepts

Analog zur Verfahrensweise der Ist-Modellierung müssen der Detaillierungsgrad, die Beschreibungsansichten sowie die einschlägigen Modellierungsrichtlinien im Rahmen der Daten-, Funktions- sowie der Leistungsansicht präzisiert, korrigiert, hinzugefügt und dokumentiert werden. Neben neuen Formen der Arbeits- und Ablauforganisation sowie leistungsfähigen computergestützten Systemen werden erweiterte und neue Methoden in der Produktentwicklung benötigt.¹²¹ Der Lösungsansatz inkludiert eine effizientere Engineering- und Konstruktionsmethodik, da in diesem Bereich der Großteil der späteren Anlagenkosten festgelegt wird und somit ein enormes Kostenpotential innehat.¹²²

Wie aus der Schwachstellenanalyse hervorgeht sollten vielmehr die Wechselwirkungen zwischen Produkt und Prozesse nach jeder Konstruktionsphase (Konzept, Entwurf, Ausarbeitung) genauer untersucht werden. Der Konstruktionsprozess muss daher grundlegend auf eine ganzheitliche, dynamisierte Sichtweise umstrukturiert werden, sodass die Prozessbetrachtung über die Grenzen des Produktentwicklungsprozesses hinausgeht. Um den Zeitrahmen des Produktentstehungszyklus zu komprimieren wird über eine ablauf- und objektorientierten Planung ein Prozesskomplex für parallele Abläufe induziert. Der Fokus sollte sich vor allem an die Konzept- und Entwurfsphase richten, weil hier durch Entwicklung von alternativen Lösungsvarianten und durch gezielte Parametervariationen ein größeres Produktverbesserungspotential vorliegt als in der Konstruktionsausarbeitung (siehe Abbildung 9: Kostenbeeinflussung während der Produktlebensphasen).¹²³

¹²¹ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 125 f.

¹²² Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 127.

¹²³ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 126.

Zeitliche Zielsetzungen und Optimierungsmaßnahmen während des Konstruktionsprozesses wurden bisher ausschließlich der subjektiven Varianteneinschätzung und der Intuition des prozessverantwortlichen Konstrukteurs überlassen.

Zukünftig sollen quantitative, rechnerunterstützte Methoden für eine CAD-integrierte Bewertungslogik in den Konstruktionsprozess einfließen. Es werden nicht nur Kosten und Zeitfaktoren der Produktionsprozesskette gemessen. Vielmehr gilt es, durch die Koppelung der CAD-Infrastruktur mit dem Produktionsdatenmanagement auf die Wirkungszusammenhänge unterschiedlicher Varianten rückschließen zu können.¹²⁴ Dadurch wird nicht mehr nur das Produkt selbst, sondern die gesamte Prozesskette in den Informationsfluss der Organisation eingebettet und digitalisiert. Die Anforderungen¹²⁵ aus dem Lastenheft werden in Zielsystemen hinsichtlich des Anforderungskataloges auf Kosten, Qualität, Durchlaufzeiten und Funktionsfähigkeit spezifiziert. Dieses Mehrfachzielsystem durchläuft Bewertungsaktivitäten hinsichtlich Maximierungs- und Minimierungsproblemen (Best Case / Worst Case). Darüber hinaus deckt dieses System hemmende Eigenschaften einer Produktvariante auf, erzeugt sozusagen Nebenbedingungen in Form alternativer Konstruktionsvarianten oder Fertigungsverfahren und behält dabei die wesentlichen Forderungen des Lastenheftes.¹²⁶ Während der Modellierungsphase muss aber beachtet werden, dass die Optimierung eines Leistungsparameters nicht isoliert betrachtet werden darf, da sich der Wirkungsbereich über die Elementargrenzen erstreckt. Im Hinblick auf Verbesserungsmaßnahmen muss der Wirkungsbereich einzelner Varianten bekannt sein, bevor die Veränderung zur Best-Case durchgeführt wird.

Derartige Bewertungsansätze können unter anderem über subjektive Analysen, Prozesssimulationen und integrierten Zielkostenrechnungsverfahren umgesetzt und vorangetrieben werden. Das erfolgsversprechende Modellierungskonzept sieht die Einbindung einer Zielkostenbestimmung in die Konzept-, Entwurfs-

¹²⁴ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 128.

¹²⁵ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 58 ff.

¹²⁶ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 136.

und Ausarbeitungsphase vor. Leistungshemmende Prozesse oder Konstruktionsvarianten gilt es während der Verfahrensweise zu korrigieren, zu vervollständigen, zu eliminieren, wertschöpfungssteigernde Veränderungen hinzuzufügen und zu dokumentieren. Hierzu muss die standardisierte VDI-Verfahrensweise adaptiert und auf die Zielbestimmungen angepasst werden.

4.1. Anwendung der Simulation als Frühwarnsystem

Bei der Analyse und Simulation von Produktionsprozessen wird die Abgrenzung zwischen Prozessanalyse und Prozessauslegung empfehlenswert. Die Prozessanalyse beschäftigt sich stärker mit Untersuchungen von Wirkzusammenhängen und physikalischen Begebenheiten des Prozesses. Simulationsaktivitäten hingegen zielen verstärkt auf qualitative und quantitative Verbesserungen der Fertigungsergebnisse sowie einer verbesserten Fertigungsplanung ab. Bei der Entwicklung von komplexen Maschinen und Anlagen sind Analyse- und Simulationswerkzeuge unverzichtbar, um Prognosen über Prozesse bzw. der Prozesskette zu erhalten, ohne diese real durchführen zu müssen. Die Frage stellt sich, ob sich die Aufwendungen für den Betrieb derartiger Instrumente bei einfachen bis mittleren Komplexitätsgrad des Gesamtsystems rechtfertigen.

Durch den frühzeitigen Einsatz dieser Methode kann der Ingenieur die Konstruktionen bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung testen, Ursachen für überproportionale Zeit- und Kostenstrukturen bestimmen, den Herstellaufwand reduzieren und gleichzeitig das Risiko verspäteter Anlagenabnahmen senken. Für die Engineering- und Konstruktionsabteilung zählt die Anwendung der CAD-Software SolidWorks im Rahmen der Anlagenentwicklung zum Schlüsselwerkzeug. Darauf aufbauend könnte ein in die CAD-Infrastruktur eingebettetes Simulationswerkzeug herstellungspezifische Messungen durchführen.¹²⁷ Neben der Konstruktion wird vor allem dem Aspekt der Kostenbewertung während der Anlagenentwicklung zur Kostenfrüherkennung großer Aufmerksamkeit gewidmet.¹²⁸ Im Verlauf der Konstruktionsmeilensteine werden

¹²⁷ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 128.

¹²⁸ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 127.

die Kostenaufwände kritischer anlagenspezifischer Bauteile und Baugruppen mit Hilfe zusätzlicher Simulationsanwendungen im Rahmen dynamischer, statischer, kinematischer und mechanischer Optimierungsanpassungen synchronisiert und für den Fertigungsprozess optimiert. Mit dieser Methode können Informationen schneller bearbeitet werden und erleichtern die Entscheidungen zur Lösungsfindung.

Die eher kurzsichtige Anwendung mittels Kostendaten wird simultan durch die zeitliche Bewertungsmethodik ergänzt und begünstigt die Entscheidungsfindung der umzusetzenden Handlungsalternativen. Die Senkung der Kosten- und Zeitparameter muss nämlich nicht zwingend eine Verbesserung ergeben, sondern kann vielmehr auf eine variantenabhängige Neugestaltung hinweisen, um positive Bewertungsergebnisse erzielen zu können. Mit dieser rechnerunterstützten Informationstechnologie kann ein breites Spektrum an möglichen Situationen simuliert werden, was durch den alleinigen Humanressourceneinsatz nicht in dieser Zeitspanne, geschweige denn Präzision, realisierbar wäre. Störungen im Prozessgeschehen werden vorzeitig aufgedeckt. Die Möglichkeit alternative Lösungen zu generieren, miteinander zu vergleichen und zu simulieren verschafft in der Anlagenentwicklung neue Dimensionen für das Aufspüren der Best Case.

Zusammengefasst werden durch das CAD-integrierte Messwerkzeug Kosten- und Zeitwerte, Ressourceneinsatz, Konfliktsituationen und Prozessprognosen simuliert. Bei systematischer Anwendung des Simulationsinstrumentes wird ein aussagekräftiger und verständlicher Reportbericht für wertschöpfende Leistungsprozesse erzeugt. Die Qualität der Simulationsergebnisse basiert grundlegend auf dem Wissen des involvierten interdisziplinären Teams und der Funktionssicherheit des Simulationsinstrumentes.

4.2. Anwendung des Target Costings

Mit Hilfe der Zielkostenmethode soll die Kostenentwicklung für produktbezogene Aktivitäten gesteuert werden.¹²⁹ Sie prägt ein permanentes Streben nach Verbesserungen im Kostenbereich. Im Sinne des Innovationswettlaufs erzeugt das CAD-integrierte Simulationswerkzeug frühzeitig die Ergebnisse für die Überwachung der Produktfunktion sowie der Teilziel- und Zielkosten. Grundlage sind überwiegend Preisvorgaben des Kunden als auch am Markt zu erzielende Verkaufspreise, nach denen die Zielkosten durch Abzug des Gewinns abgeleitet werden und die Obergrenze der Selbstkosten für das Gesamtprojekt vorgeben.¹³⁰ Die Selbstkosten¹³¹ werden aufgrund der angewendeten Kalkulationsmethode, die auf Basis der Vollkostenrechnung arbeitet, nur pauschal angenommen. Entwicklungs- und Konstruktionskosten können im Vorfeld als separate Dienstleistung in Rechnung gestellt werden. Die Kostenabwälzung der Entwicklungs- und Konstruktionsleistung kann jedoch nicht in jedem Geschäftsfeld vorgenommen werden. Die Verwaltungs- und Vertriebskosten werden aus den Herstellkosten prozentuell abgeleitet.¹³² Im vorliegenden Fall setzt der Kunde ein klares Kostenbudget zur Erfüllung der Aufgabenstellung. An den einmalig festgelegten Zielkosten orientieren sich nun sämtliche operative Anstrengungen im weiteren Verlauf der Produktentwicklung. Ein mögliches, integrierfähiges Konzept innerhalb der Entwicklung und Konstruktion stellt Abbildung 11 vor.

¹²⁹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 134.

¹³⁰ Vgl. Stelling (2009), S. 167.

¹³¹ Vgl. Schlink (2014), S. 107.

¹³² Vgl. Schlink (2014), S. 125.

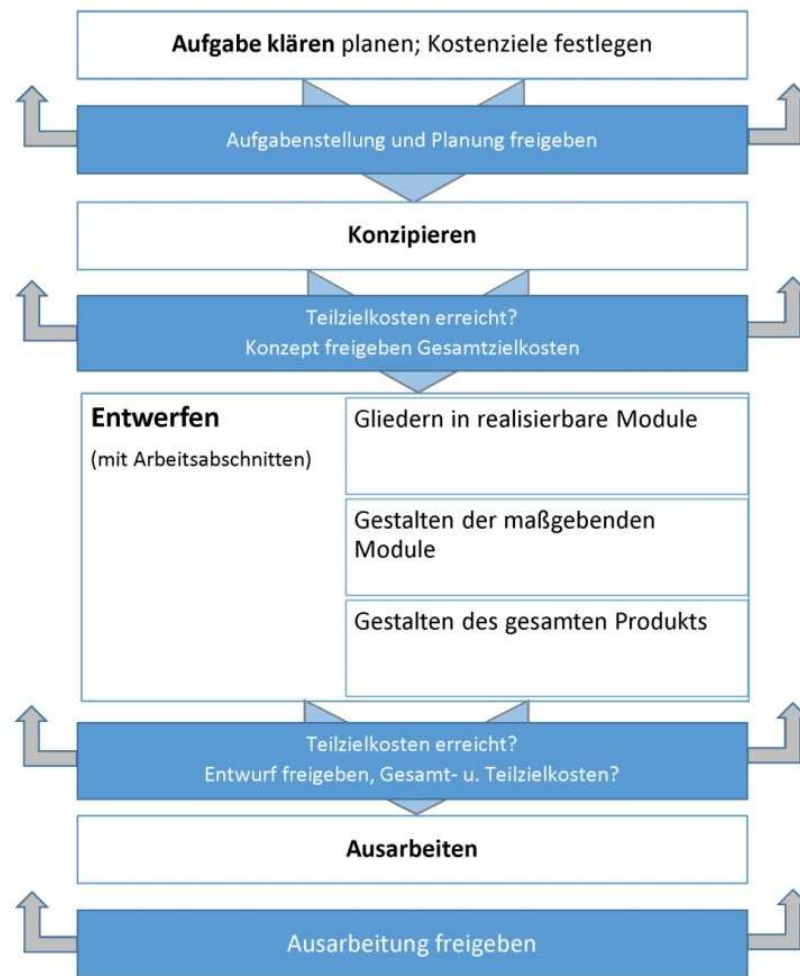


Abbildung 11: Zielkostenorientiertes Vorgehen in der Entwicklung und Konstruktion¹³³

Abbildung 11 interpretiert klar den monetären Nutzen für die Organisation, da bereits während der einzelnen Konstruktionsphasen definierte Teilzielkosten diskutiert werden. Denn je später eine Variantenentscheidung zurückliegt, umso teurer fallen deren Behebungskosten aus, da die Prozesskette neu zu durchlaufen wäre.¹³⁴ Dementsprechend soll eine prozessorientierte Organisation auch nicht die erwarteten Herstellkosten zur Ermittlung des Verkaufspreises anwenden. Bezugskosten können an den bereits bekannten Vorgängermodellen anknüpfen, um Rückschlüsse auf Komponentenkosten und Zeitstrukturen zu gewinnen.

¹³³ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 105.

¹³⁴ Vgl. Schlink (2014), S. 113.

Für die unternehmensspezifischen Werksnormen bzw. Standardausführungen¹³⁵ existieren Kostenbausteine und stellen die Ist-Werte bzw. Bezugsgrößen zur Zielplanung dar. Strategisch sinnvoll sind Kostenschätzungen zu Komponenten der Mitbewerber.¹³⁶ Alle nicht zahlenmäßig bewerteten Ausführungsvarianten werden über Kosten- und Gewichtsschlüssel zu einer Bezugskostengröße hingerechnet und nach kundenrelevanten Funktionen aufgeteilt. Sie bilden Grenzwerte, die keinesfalls in der Zielkostenrechnung überschritten werden dürfen.

In Zusammenarbeit mit dem interdisziplinären Team bricht der Entwicklungsingenieur, die Gesamtzielkosten prozessorientiert auf einzelne Funktionen, Bauteile, Baugruppen und Fertigungsverfahren des Produktes zu Teilzielkosten herunter.¹³⁷ Daraufhin werden die Ergebnisse während der gesamten Konstruktionsstufen abschnittsweise auf die Erfüllung des Gesamtkostenziels überprüft. Aufgrund der Zwischenergebnisse kann der gesamte Entwicklungsprozess über Funktions-, Zeit-, Qualitäts-, Produkt- und Prozessanpassungen gesteuert werden. In diesem Sinne wird der Regelkreis kurz und flexibel gestaltet.¹³⁸ Nicht immer wird jede einzelne Teilzielposition erreicht. Deshalb müssen die Teilziele untereinander abgeglichen werden. Am effizientesten ist die Definition der Teilzielkosten für Baugruppen, da sie bei der CAD-integrierten Messung als Gesamt- bzw. Teilsystem eindeutig kontrollierbar sind. Die transparente Darstellung quantitativer Zielgrößen¹³⁹ in Form einer Zielkostenplanung bezweckt nicht nur die Selbstkontrolle der eigenen Abteilung, sondern geht im Rahmen einer Leistungszielüberwachung und -sicherung dahin, Chancen und Risiken abzuwägen und Entscheidungen herbeizuführen.

¹³⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlant und Pfiff (2005), S. 88.

¹³⁶ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 67.

¹³⁷ Vgl. Stelling (2009), S. 170.

¹³⁸ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 104 f.

¹³⁹ Vgl. Schlink (2014), S. 113.

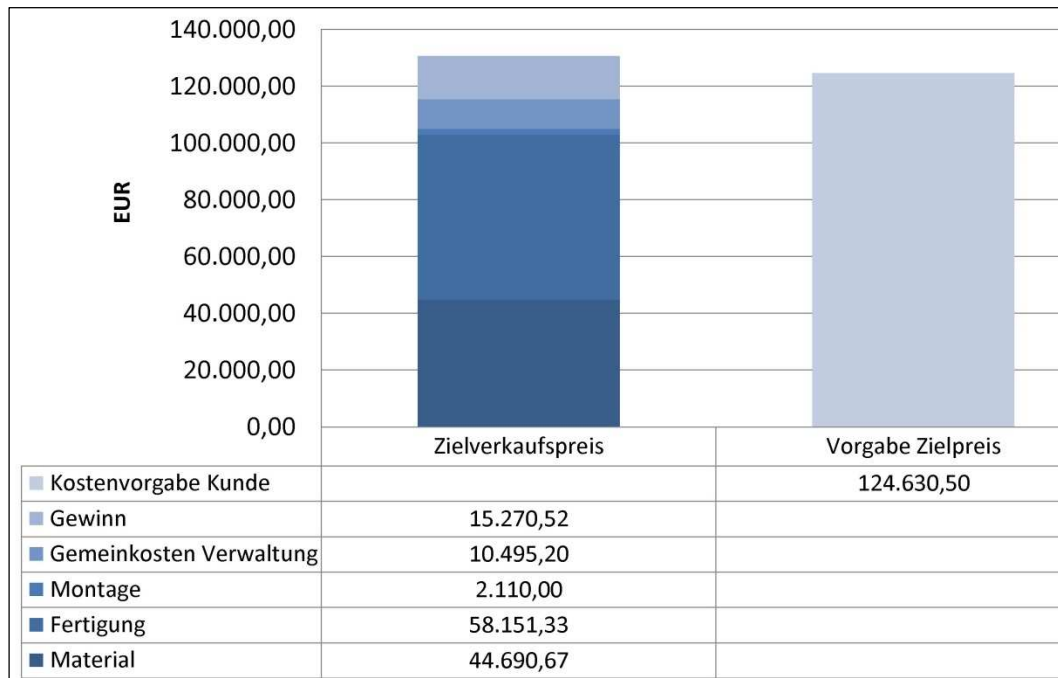


Abbildung 12: Ergebnis der Zielkostenplanung

Aus Abbildung 12 kann die Zielabweichung in Bezug auf den Zielpreis abgelesen werden. Die Zieldifferenz hieraus bilden den absoluten Zielwert ab, den es zu korrigieren gilt. Aus bilanzieller Sicht müssen die beiden Balken nämlich das gleiche Zielergebnis liefern.

4.3. Anwendung der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

In der Konstruktionsphase wird die FMEA eingesetzt, um die kritischen Bauteile zu analysieren und die Variantenausführung zu bewerten und in die Best Case zu verbessern. In der geforderten Ausprägung wird sie als Design- oder System-FMEA aufgebaut und dient der Variantenanalyse. In gegenständlicher Arbeit wird sie entsprechend der Problemstellung umfunktioniert, sodass die Baugruppen in ihre Elementsysteme zerlegt werden, um zielorientierter zu den Kosten- und Zeitfaktoren der kritischen Bauteile zu gelangen. Die Analyseaktivitäten setzen auf die Ursachen- und Auswirkungsforschung und dokumentieren mit 3 verschiedenen Faktoren (Auftrittswahrscheinlichkeit, Auswirkung und Entdeckungswahrscheinlichkeit) die sogenannte Risikoprioritätszahl, die

den Grad der Priorität für Gegenmaßnahmen festlegt.¹⁴⁰ In diesem Sinne leistet die FMEA gute Dienste in der Dokumentation umsetzungswürdiger Standards in der Entwicklungsphase. Zusammenfassend wird die Design-FMEA hauptsächlich dazu verwendet, potenzielle Konfliktherde aufzuspüren, ihre Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit zu eruieren und Maßnahmen für die Behebung zu gestalten.

4.4. Ansätze zur Messung von Schweißkonstruktionen

Schweißkonstruktionen werden gegenwärtig auf Grundlage entscheidungsorientierter Ansätze kalkuliert und bemessen. Die Kalkulation prognostiziert mögliche Herstellinformationen über spezifische Gewichtskosten und subjektive Zeitannahmen, die sich jedoch über hohe Streuverluste hinsichtlich fehlerhafter Ergebnisse bemerkbar machen. In dieser Hinsicht trägt der Prozessbeauftragte die Verantwortung zur Konfliktlösung.¹⁴¹ Ein möglicher Lösungsansatz bezweckt, dass Angaben zu Schweißnahtdicke, Anzahl der Schweißlagen, Schweißnahtausführung, Schweißnahtlänge und spezifisches Gewicht des Zusatzmaterials (Schweißdraht) als CAD-basierte Information in die Baugruppenkonstruktion hinterlegt werden. Da in den Ausarbeitungsplänen ohnehin Schweißanweisungen zu dokumentieren sind, können diese auch in der CAD-Baugruppe durch eigene Befehlsgebungen eingefügt werden. In der Zeichnungsableitung werden diese Informationen automatisch eingefügt, wobei diese Eigenschaftsarchivierung hohe Rechnerleistungen beanspruchen. Aus dieser Datenbasis könnte aber die Abschmelzleistung berechnet werden, die den Verbrauch an Zusatzmaterial, Produktionsressourcen, und Montagezeiten offenlegt.¹⁴²

¹⁴⁰ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 154.

¹⁴¹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 118.

¹⁴² Vgl. Wittmann, Niederer und Friedl, Patent EP 0901865-A2 (1999), [0095].

Sollwertvorgabe für den Schweißprozess Kehlnahtdicke: $a = 3 - 6\text{ mm}$ (prozentuell am häufigsten verschweißter Kehlnahtbereich) <u>Schweißparameter:</u> Schweißspannung: 29 Volt Schweißstrom: 320 Ampere Drahtvorschub v_{draht} : 13 m/min Zusatzwerkstoff d : Fülldraht $\varnothing 1,2\text{ mm}$ bei $\rho = 7,85\text{ g/cm}^3$ Vorgabewert Schweißprozessgeschwindigkeit: $v_{\text{sch}} = 0,5\text{ m/min}$					
		Anzahl der Facharbeiter (Schweißer)			
		1	2	3	4
Arbeitseinsatz [h]	1	30	70	95	100
	2	60	140	190	200
	3	90	210	285	300
	4	120	280	380	400
	5	150	350	475	500
	6	180	420	570	600
	7	210	490	665	700
	8	240	560	760	800
	9	250	605	830	875

Tabelle 6: Sollwertvorgabe für Schweißprozesse ab 750 kg Baugruppengewicht bei gegebener Kehlnahtdicke¹⁴³

Die interne Sollwertvorgabe gemäß Tabelle 6 fasst die benötigte Zeitdauer für bestimmte Schweißleistungen, in Abhängigkeit der eingesetzten Facharbeiter, für den Schweißprozess zusammen. Diese Tabelle kann weiterführend für potenzielle Bewertungsmaßnahmen herangezogen werden. Durch die unterschiedlich hinterlegten Soll-Werte¹⁴⁴ für manuelle Schweißzyklen wird der Schweißprozess gesteuert und überwacht. Die Tabelle hilft dem Schweißer den Einstellungsbereich des Schweißgerätes einzugrenzen, wodurch Fehleingaben für Schweißprozesse verhindert werden sollen. Darüber hinaus können die

¹⁴³ Eigene Darstellung der Zielwertvorgabe für stark frequentierte Schweißprozesse im Rahmen einer schweißoptimierten Umgebung.

¹⁴⁴ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 115.

Einstellungen mit theoretischen Formelbezügen überprüft bzw. individuell ermittelt werden.¹⁴⁵

$$a = \sqrt{\frac{d^2 * \pi * v_{draht} * 100}{4 * v_{sch}}}$$

Aus den definierten Parametern lässt sich die gesuchte Variable durch Ableitung der Formel berechnen. Der Schweißnahtquerschnitt ($A [mm^2]$)¹⁴⁶ lässt sich über die Nahtdicke mit nachstehendem Formel Ausdruck¹⁴⁷ definieren:

$$A = a^2 \quad \dots \text{Schweißnahtquerschnitt [mm}^2\text{]}$$

$$A_z = \frac{d^2 * \pi}{4} \quad \dots \text{Querschnitt des Zusatzmaterials [mm}^2\text{],}$$

wobei d der Fülldrahtdurchmesser ist
(z.B. $d = 1,2 \text{ mm}$).

Diese Größen sind deshalb von Bedeutung, da sie wesentliche Vorgaben zur Ermittlung der Gesamtmasse aller Schweißnähte geben und über weitere Berechnungsansätze eine nachweisliche Informationsqualität für die Kostenrechnung liefern.

$$m_{sch} = A * l * \rho \quad \dots \text{Schweißnahtmasse [kg]}$$

Ergänzend werden Grenzmaße für die Kehlnahtdicke in die Leistungsbetrachtung eingeführt. Dabei gilt bis 35 mm Materialdicke nachstehende Grenzwertdefinition.¹⁴⁸

$$a_{min} \geq \sqrt{t_{max}} - 0,5 \geq 3 \text{ mm} \quad t_{max} \dots \text{maximale Blechstärke}$$

$$a_{max} \leq 0,7 * t_{min} \quad t_{min} \dots \text{minimale Blechstärke}$$

¹⁴⁵ Vgl. Wittmann, Niederer und Friedl, Patent EP 0901865-A2 (1999), [0041].

¹⁴⁶ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.04-1, S. 5.

¹⁴⁷ Vgl. Wittmann, Niederer und Friedl, Patent EP 0901865-A2 (1999), [0040].

¹⁴⁸ Vgl. http://www.christiani.de/pdf/81198_probe.pdf (2014), 26.12.2014, Uhrzeit: 06:37, S. 227.

Hieraus kann durch die Ermittlung des arithmetischen Mittels die Sollwertvorgabe für die Bestimmung der Kehlnahtdicke angewendet werden, sofern die vorgegebenen zulässigen Nennspannungen¹⁴⁹ nicht unterschritten werden und können in der angepassten Wertetabelle 7 neu formiert werden.

$$a = \frac{a_{min} + a_{max}}{2} \geq 3$$

		Blechstärke 1											
		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
Blechstärke 2	3	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	4	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	5	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	6	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	4 1	4 1	4 1	4 1	5 1	5 1	5 1
	8	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	4 1	4 1	4 1	5 1	5 1	5 1	5 1
	10	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	5 1	5 1	5 1	5 1	6 1	6 1	6 1
	12	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	5 1	6 1	6 1	6 1	6 1	7 2	7 2
	15	3 1	3 1	3 1	4 1	4 1	5 1	6 1	6 1	7 2	8 3	8 3	8 3
	20	4 1	4 1	4 1	4 1	5 1	5 1	6 1	7 2	9 4	9 4	9 4	10 4
	25	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	6 1	6 1	8 3	9 4	11 5	11 5	11 5
	30	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	6 1	7 2	8 3	9 4	11 5	13 7	13 7
	35	5 1	5 1	5 1	5 1	5 1	6 1	7 2	8 3	10 4	11 5	13 7	15 9

Tabelle 7: optimierte Sollwertvorgabe für die Bestimmung der Kehlnahtdicke einschließlich der Schweißlagen (rot dargestellt) als Resultat der externen Prozessanalyse¹⁵⁰

Diese Wertmäßigkeiten gelten nur für statische und dynamische Belastungsfälle mittlerer Ausprägung und solcher, die nicht durch statische Berechnungen

¹⁴⁹ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren (2009), Kapitel 3.04-1, S. 1.

¹⁵⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Hirt, Bez und Nussbaumer (2007), S. 292.

zwingend vorgeschrieben werden. Das bedeutet, dass ohnehin hoch dynamisch beanspruchte Vorrichtungen und Anlagen mit stark ausgeprägter Belastungskurve, wie es zum Beispiel bei Gesteinsbrecher vorkommt, von diesen Vorgaben ausgenommen sind.

4.5. Kritische Auseinandersetzung im Zuge der Auswahl des Lösungsansatzes

Aus einer Vielzahl von Lösungsvorschlägen muss die Best Case aus den Konstruktionsvarianten sowie aus den Fertigungs- und Montageprozessen ausgewählt werden. Das bedeutet in der Regel Analyse-, Bewertungs- und Entscheidungsmaßnahmen hinsichtlich der Auswahl zwischen Worst- und Best-Case-Varianten. Die Analysemethoden stützen sich auf die Kostenfrüherkennung des Simulationswerkzeuges, das die Entscheidungen für Lösungsalternativen im Rahmen des Teilkostenziels und der FMEA wesentlich erleichtern soll, aber formal kritisch zu hinterfragen ist, da sich die Kennzahlen rein auf Indikatoren der Herstellung beziehen.¹⁵¹

Die in diesem Kapitel vorgestellten Optimierungsmethoden sind kleine Fragmente aus dem umfangreichen Repertoire des Geschäftsprozessmanagements. Zugunsten der Qualität und nicht der Quantität beschränkt sich der Autor explizit auf die Methoden interdisziplinärer Simulationen mit Unterstützung der Zielkostenrechnung und subjektiver Variantenanalysen. Dieser Kompromiss unterstreicht die Dringlichkeit, bereits in der Produktentwicklung aktiv in die Zeit- und Kostenentwicklung eingreifen zu können. Außerdem wird mit dieser Methodik die Messung von Kosten und Effizienzkennzahlen weitestgehend automatisiert, wobei der Informationsgehalt solcher Vorhersagen periodisch überprüft werden sollte.

¹⁵¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 75.

5. Quantitatives Bewerten der Produktionsprozesse

„Betriebliche Kennzahlen zu ermitteln ist der erste Schritt.

Betriebliche Kennzahlen auszuwerten ist der schwierigste Schritt.

Praktische Konsequenzen daraus zu ziehen ist der wichtigste Schritt.“¹⁵²

Mit dem Bestreben die Produktionsperformance zu ermitteln muss der Anwender aus einer Vielzahl von Kennzahlen jene herausfiltern, deren Zielbedingung für die Leistungsbestimmung von Bedeutung ist. Insofern eignen sich besonders Kennzahlen¹⁵³, die alle wertschöpfenden Aktivitäten und Ziele der Produktion steuern.¹⁵⁴ Darüber hinaus stellt sich ebenso die Frage, mit welcher Art von Kennzahlen die verlässlichsten und aussagekräftigsten Ergebnisse für die interne Produktionsorganisation erzeugt werden.¹⁵⁵ Wie in Kapitel 4 beschrieben, wird für die Messung ein Werkzeug der Simulationstechnik herangezogen, welches die firmenspezifischen Fertigungsprozesse auf operativer Ebene abbildet. Abschließend werden Variantenempfehlungen aufgezeigt, um die besten Lösungsalternativen von den schlechtesten Alternativen abzugrenzen. Es gilt eine ökonomische Balance in der Beurteilung eines guten von einem weniger guten Prozess zu finden und wie die endgültige Ausführung auszusehen hat.¹⁵⁶ Erst wenn die Zielvereinbarungen zufriedenstellend bewertet wurden, können die Variantenempfehlungen in den optimierten Aggregatzustand übergeführt werden.

¹⁵² Vgl. Bernd (2005), S. 9.

¹⁵³ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 149.

¹⁵⁴ Vgl. Stelling (2009), S. 275.

¹⁵⁵ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 78.

¹⁵⁶ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 71 ff.

Derzeit beruhen die Entscheidungssituationen im Wesentlichen auf subjektive Vorgaben und können ohne weitere Hilfsmittel und Maßnahmen nicht quantitativ bewertet werden.

„Ein Geschäftsprozess ist nur dann beherrschbar, wenn er messbar ist. Nur was messbar ist, ist kontrollierbar – und was kontrollierbar ist, kann auch verbessert werden.“¹⁵⁷

In dieser Dissertation stehen vor allem Absolutkennzahlen¹⁵⁸ im Fokus, die mengen- oder wertmäßige Einzelzahlen, Summen, Differenzen oder Mittelwerte sein können. Sie werden mit Hilfe einer Skala oder über Formelsysteme messbar gemacht, wobei sie nur Informationen aber keine Hinweise über deren Zustandekommen liefern.¹⁵⁹ Die Kennzahlen, mit denen die Prozesse bewertet werden, beschreiben die Leistungsfähigkeit der Prozesse.¹⁶⁰ Die Berücksichtigung der Prozesskosten (Herstellkosten) und Prozesszeit (vorwiegend Bearbeitungszeit) gewährleistet eine allgemein gültige Bewertung der Prozessleistung.¹⁶¹ Der Fokus liegt speziell in Transformationsaktivitäten der Inputleistung zu adäquater Outputleistung, welches im Rahmen der Produktrealisierung erzeugt wird und die Ausprägungen von Prozesskosten, -zeit aber auch -qualität charakterisiert.¹⁶² Die betreffenden Leistungs- und Prozesskennzahlen können anschließend über unternehmensspezifische Zielvereinbarungen entworfen werden.¹⁶³ Der klassische Lösungsweg wird in Abbildung 13 deutlich.



Abbildung 13: Herangehensweise in der Entwicklung eines Kennzahlensystems

¹⁵⁷ Vgl. Hinterhuber (2004), S. 130 ff.

¹⁵⁸ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 124.

¹⁵⁹ Vgl. Stelling (2009), S. 275.

¹⁶⁰ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 149.

¹⁶¹ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 126.

¹⁶² Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 70 f.

¹⁶³ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S.16.

Die Methodik zur Implementierung von Prozesskennzahlen beginnt mit den Analyseaktivitäten sowie der Geschäftsprozessbestimmung. Die Schlüsselprozesse, als auch die Prozessziele wurden bereits in den vorherigen Kapiteln erfasst und dokumentiert. Dieses Kapitel befasst sich mit der Zusammenstellung von herstellrelevanten Absolutkennzahlen, die unerlässlich für das Untersuchungsprojekt sind.

5.1. Grundlagen von Kennzahlen

Die Wahl der idealen Kennzahlen ist von großer Wichtigkeit, da sich der Wirkungsbereich dieser Größen von der Prozesssimulation und Prozessbewertung bis hin zur Optimierung und kontinuierlichen Weiterentwicklung von Fertigungsprozessen und Prozessvarianten erstreckt. Die Gruppe der präferierten Kennzahlen bilden die Basis für das Benchmarking, die Ablaufsteuerung sowie die Variantendarstellung. Die Kennzahlen werden durch die Prozessanalyse beschrieben. Erst dadurch wird die Verknüpfung zum Prozessmodell¹⁶⁴ begreifbar. Für vergleichende Aussagen müssen die Kennzahlen stets nach den gleichen Erfassungskriterien bestimmt werden. Das Resultat sollte eine transparente, verständliche und eindeutige Nutzung garantieren.

Ein Prozessmodell der Produktion generiert laufend, zum Teil auch außerplanmäßige Kennzahlen. Diese Begebenheiten entstehen daher, dass Produktionsprozesse sukzessiven Änderungen im Rahmen adaptierter Kundenwünsche oder Konstruktionsanpassungen ausgesetzt werden. Abweichungen in den Durchlaufzeiten verstärken entscheidend die Kostenentwicklung des Kundenauftrags und der Gesamtproduktion. Dieser Störfaktor führt zwangsweise zu negativen finanziellen Belastungen, da die Gesamtauswirkung auf die Unternehmensorganisation nur bedingt an den Kunden weiterverrechnet werden kann. Aus diesem Grund muss ein dynamisches aber gleichzeitig stabiles, technikfähiges und verwaltungsfähiges Simulationssystem geschaffen werden.

¹⁶⁴ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 76.

Die Effizienz der Produktionsprozesse wird über Leistungsindikatoren (Durchlaufzeiten, Personalkosten, Fertigungskosten, Gemeinkosten, Material, Prozesssicherheit,...) quantifiziert. Im Besonderen werden die Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich der Kosten- und Zeitentwicklung aufgezeigt. Diese Bewertungstaktik erzeugt flexible und dennoch qualitativ hochwertige Anlagenlösungen, die gemäß den Kundenanforderungen umgesetzt werden. Im Rahmen der Kennzahlenaufbereitung werden mengen-, ressourcen-, kosten- sowie zeitorientierte Bewertungskriterien erfasst.

5.2. Mengenbezogene Kennzahlen

Prozess-, Material- und Bauteilmengen beeinflussen direkt in Verbindung mit den Prozesszeiten die Kostenstruktur. Die Ausgrenzung dieses verknüpften Teilaspektes würde das Kennzahlenkonzept im Rahmen der Prozesszeiten- und Prozesskostenbetrachtung verfälschen.¹⁶⁵ Nur eine annähernd vollständige Datenerhebung garantiert eine verhältnismäßig vertretbare Bestimmung der Wertmäßigkeit ineffizienter Prozesse. Die Kosten- und Zeitziele werden zunächst getrennt voneinander betrachtet, da sie die tatsächlichen Prozessergebnisse liefern und nur so für die Kennzahlenaufbereitung sinnvoll verwendet werden können.¹⁶⁶

5.3. Zeitbezogene Kennzahlen

Der Faktor Zeit verkörpert innerhalb aller Untersuchungen und Überlegungen eine nachhaltige Gewichtung für die Erfolgsbewertung der Produktion. Denn knappe Auftragsabwicklungstermine belasten zunehmend die Unternehmensaktivitäten und drängen auf eine Distanzierung von den traditionell nacheinander folgenden Arbeitsabläufen. Dementsprechend werden in dieser Arbeit die Durchlaufzeiten einzelner Fertigungsprozesse sowie deren dynamische Auswirkungen im Rahmen eines Variantenvergleichs aufgegriffen.

¹⁶⁵ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 205.

¹⁶⁶ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 291.

Im operativen Tagesgeschäft können zeitorientierte Kennzahlen zahlenmäßig am Genauesten wiedergegeben werden.

5.3.1. Durchlaufzeit

Durchlaufzeiten spiegeln Leistungsindikatoren für die Effizienz der Prozessdurchläufe wider. Verkürzte Prozesszeiten wirken sich demnach positiv auf die Kostenentwicklung und Termintreue aus und stehen in direkten Zusammenhang. Aufgrund des vorherrschenden dynamisierten Wettbewerbes liegt die Entscheidungssituation begründet, beschleunigte Prozessabläufe zu forcieren, um die eigene Leistungsfähigkeit zu erhöhen. Durchlaufzeiten bestimmen sich durch beeinflussbare Variablen, die im Rahmen von Liege-, Transport-, Rüst-, Entscheidungs- und Bearbeitungszeiten sowie über Automatisierungsgrad, Prozesssicherheit, Planungsgenauigkeit, Material- und Maschinenverfügbarkeit, Auswirkungen auf die Prozesszeit haben.¹⁶⁷

Das Unternehmen wendet eine automatisierte Ist-Zeiterfassung an und schafft so die Grundvoraussetzungen für eine wirkungsvolle Visualisierungs- und Kennzahlenaufbereitung. Im Zuge der Bewertungsvorgänge können auf Basis der Ist-Messgrößen, Grafikverläufe aus den Durchlaufzeiten-Prozesskosten-Diagrammen abgelesen und den Zielvorgaben¹⁶⁸ gegenübergestellt werden. Das Visualisierungskonzept zeigt auf verständliche Weise den Wirkungsbereich zwischen Zeitindikatoren und Kosten. Über eine größere Zeitspanne hinweg können sogar Trends prognostiziert werden. REFA schlüsselt die Vorgabezeiten wie aus Abbildung 14 ersichtlich, wie folgt auf:

¹⁶⁷ Vgl. Jankulik, Kuhlang und Pfiff (2005), S. 127.

¹⁶⁸ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 116.

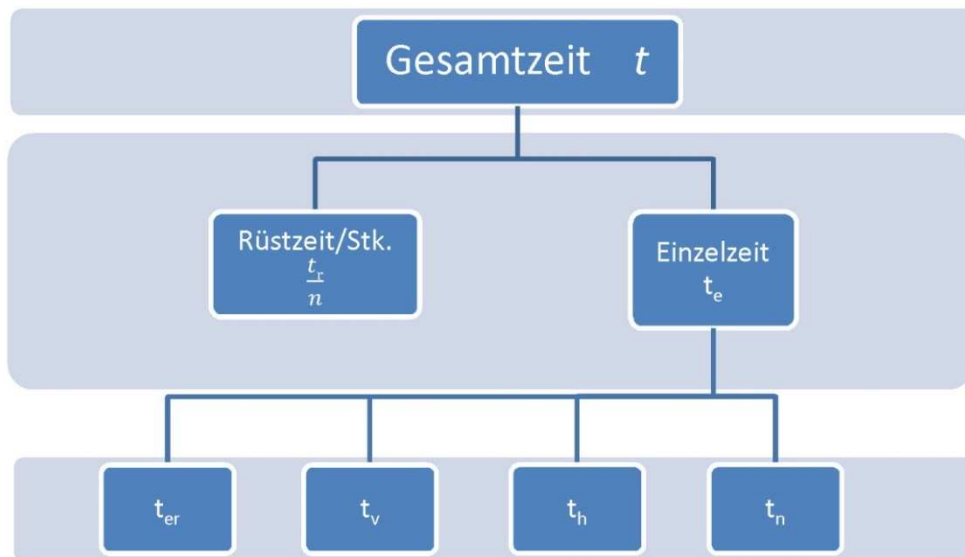


Abbildung 14: vereinfachtes Schema der Vorgabezeiten nach REFA¹⁶⁹

t_{er}	...	Erholungszeit
t_v	...	Verteilzeit
t_h	...	Hauptzeit
t_n	...	Nebenzeit

In den nachfolgenden Formeln werden auftrags- und kapazitätsbezogene Zeitziele angeführt. Die Durchlaufzeiten der Produktionsprozesse setzen sich übergeordnet aus Rüstzeit/Stück und Grundzeit (Haupt- und Nebenzeit) sowie untergeordnet aus der Verteil- und Erholungszeit zusammen. Der mathematische Ausdruck lautet:¹⁷⁰

$$\text{Durchlaufzeit} = \sum \left(\frac{t_r}{n}, t_{er}, t_v, t_h, t_n \right)$$

Die Formel charakterisiert die Zeitdauer vom Anstoß der Leistung bis zur Bereitstellung des Ergebnisses.¹⁷¹ Gegenständliche Arbeit fokussiert sich im Speziellen auf Rüst- und Bearbeitungszeiten, die neben den Liegezeiten (ca.

¹⁶⁹ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 114.

¹⁷⁰ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 114 f.

¹⁷¹ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 280.

70%) den Hauptanteil der Durchlaufzeit stellen.¹⁷² Dadurch wird der Aufwand für die Datenerhebung relativ reduziert, aber verzerrt wiederum die Genauigkeit der tatsächlichen Situation, wobei Liegezeiten als kostenrechnerische Größe in der Einzelfertigung eher sekundäre Wertigkeiten verursachen. In Anbetracht der Ausgrenzung werden zeitliche Überschneidungen zwischen den Produktionsprozessen immer präsent sein, jedoch sollten sie im Wissen ihrer Existenz nicht ausgeblendet werden.

5.3.2. Rüstzeiten

Die Rüstzeit ist die Zeitspanne vom letzten Teil der vorhergehenden Losgröße bis zum ersten Bauteil des neu gerüsteten Fertigungsauftrages. Zur Minimierung der Rüstzeiten ist für jeden einzelnen Arbeitsschritt der dafür erforderliche Zeitbedarf (Ist-Situation) zu ermitteln und tabellarisch darzustellen.¹⁷³ Die Gruppenbildungen von artgleichen Tätigkeiten (Transportarbeiten, Reinigungsaktivitäten, Einstellarbeiten, Spann- oder Ausspanntätigkeiten, usw.) werden im Team festgelegt und bezwecken den Durchblick für das Zustandekommen von Rüstaktivitäten zu wahren. Vor allem in der Serienfertigung sind die wirklichen produktiven Maschinenlaufzeiten im Verhältnis zu den Stillstandzeiten¹⁷⁴ zu untersuchen, da vorhandene Verbesserungspotentiale vorwiegend in den Rüstaktivitäten aufzuspüren sind. Hierfür müssen die Informationen über manuelle Aufzeichnungen eruiert werden und liefern idealerweise Zeit-, Tätigkeits- und Störungsbeschreibungen.¹⁷⁵

5.3.3. Bearbeitungszeit

Für die Bearbeitungszeiten werden nur die wichtigsten rationalen Bearbeitungsverfahren angeführt. Die konventionellen Methoden sind im Anhang offengelegt.

(1) Autogen- und Plasmabrennschnitt

¹⁷² Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 247.

¹⁷³ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 114.

¹⁷⁴ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 246.

¹⁷⁵ Vgl. Jung (2010), S. 486.

Die Schnittgeschwindigkeiten der Brenn- und Laserschnittsverfahren variieren sehr stark in Abhängigkeit vom eingesetzten Material und der Blechstärke. Aus Abbildung 15 wird dieser operative Zusammenhang klar interpretiert.

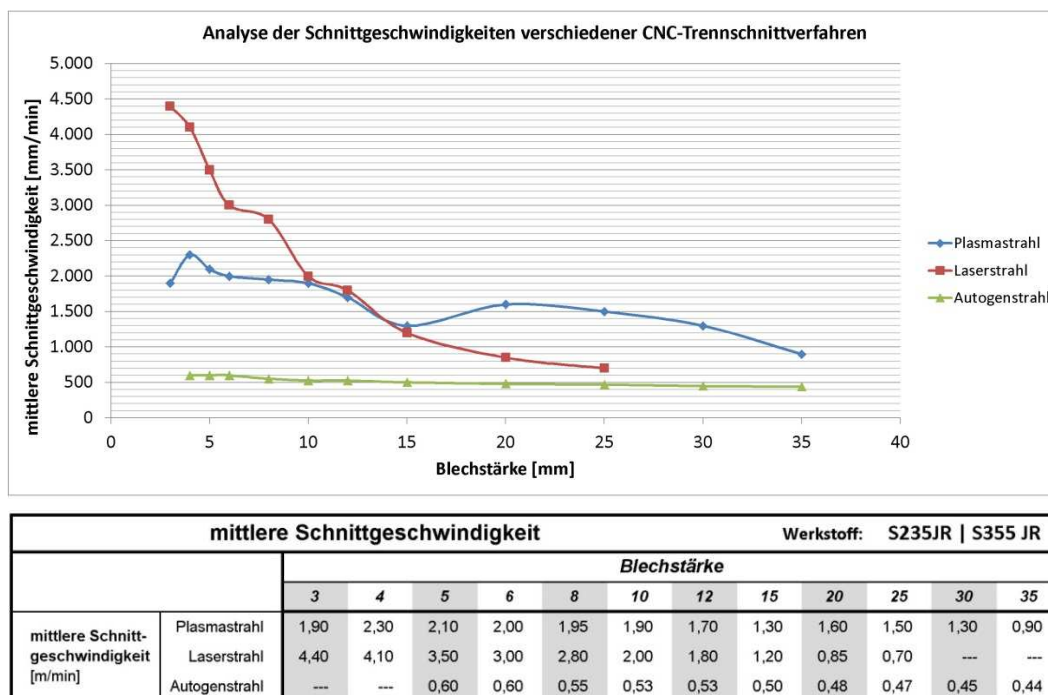


Abbildung 15: Schnittgeschwindigkeiten pro Leistungseinheit im Leistungsvergleich der internen CNC Brennschnittanlage mit dem externen Laser-Trennschnittverfahren¹⁷⁶

Der grafische Kurvenverlauf aus Abbildung 15 zeigt klar die zeitabhängigen Vorzüge des Laserstrahlverfahrens (Hauslieferant) bis mindestens 8 mm Blechstärke, wobei sich ab 12 mm eine stetig fallende Tendenz ergibt bis das Verfahren schließlich bei 25 mm an ihre technischen Grenzen stößt. Das Autogenstrahlverfahren pendelt nahezu gleichmäßig im untersten Geschwindigkeitsbereich. Das Plasmastrahlverfahren erreicht ab ca. 15mm Blechstärke die wahren Präferenzen und löst die Laserstrahlmethode im Rahmen des Zeitvorteils ab.

¹⁷⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung der Ergebnisse aus der Prozessanalyse.

(2) Spanende Bearbeitung

In der spanenden Bearbeitung (*Bohr-, Fräs- und Drehoperationen*) kennzeichnet ausschließlich das pro Zeiteinheit abgetragene Spanvolumen die Wirtschaftlichkeit¹⁷⁷ des Bearbeitungsverfahrens. Das heißt, dass das Werkzeug den Volumenunterschied zwischen dem ursprünglichen Rohteilmaterial (Blech-, Block- oder Zylinder-Rohteiltyp) und dem Fertigteil über die Zeit errechnet. Die Kenngröße wird in der Fertigungstechnik als Zeitspanvolumen bezeichnet. Sie gibt Aufschluss über die Leistungsfähigkeit der Prozessausführung, da anhand ihrer die Produktivität des Werkzeugs- und Maschineneinsatzes gemessen werden kann. Somit eignet sie sich besonders als Kennzahl für das Benchmarking. Bestimmende Einflussfaktoren sind Rohmaterialgüte, Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe, Vorschubgeschwindigkeit und Werkzeugeigenschaften. Aus dem Zeitspanvolumen kann die Bearbeitungszeit ermittelt werden. Bestimmende Maßeinheiten für die Berechnung können aus Abbildung 16 entnommen werden.

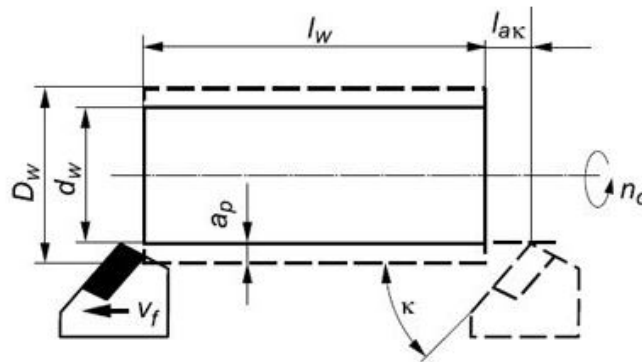


Abbildung 16: Schnittzeit beim Längs-Runddrehen

$$t_L = \frac{(l_w + l_{ak})}{v_f} * \frac{Z}{a_p}$$

$$v_f = v_c * f$$

- t_L ... Bearbeitungszeit Längsdrehen
- l_w ... Werkstücklänge [mm]
- l_{ak} ... Anschnittweg [mm]
- v_c ... Schnittgeschwindigkeit [mm/min]
- f ... Vorschub [mm]
- Z ... Bearbeitungszugabe [mm]
- a_p ... Schnitttiefe [mm]

¹⁷⁷ Vgl. Schlink (2014), S. 10 ff.

In gleicher Weise wird auch die Bearbeitungszeit beim Plandrehen berechnet. Fräsbewegungen beruhen auf gleiche Berechnungsmethodik, mit dem Unterschied im Einbezug anderer Variablen, die aus Abbildung 17 abgelesen werden können.

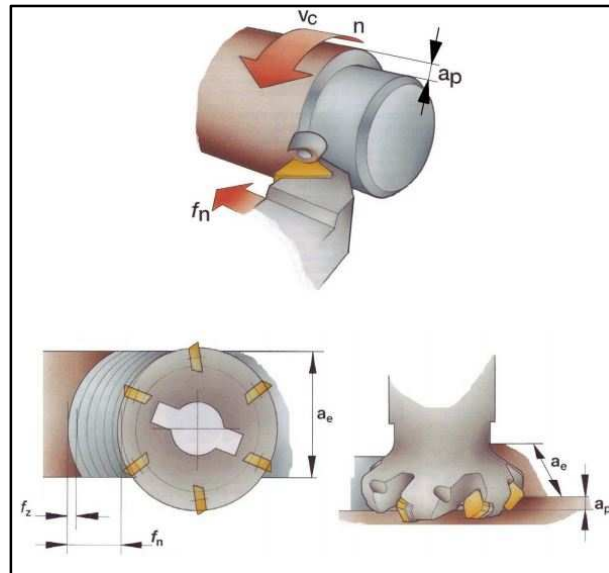


Abbildung 17: Berechnungsfaktoren für das Zeitspanvolumen bei spanender Bearbeitung¹⁷⁸

$$ZSV_{Drehen} = A * v_c = \frac{A * v_c}{a_p * f_n}$$

$$ZSV_{Fräsen} = A * v_c = \frac{A * v_c}{a_p * a_e * v_f}$$

ZSV ...	Zeitspanvolumen [cm³/min]
v_c ...	Schnittgeschwindigkeit [mm/min]
v_f ...	Vorschubgeschwindigkeit [mm/min]
f_n ...	Vorschub [mm]
a_p ...	Schnitttiefe [mm]
a_e ...	Arbeitseingriff [mm]
A ...	Spanfläche [mm]

Diese Formelstellungen sind für spanende Bearbeitungsprozesse allgemein gültig und liefern anhand der dokumentierten Bearbeitungsdaten schlüssige Zeitangaben zu den Prozessen.

¹⁷⁸ Vgl. Kenter (2013), S. 7.

(3) Montage – Schweißen

Die Lösungsansätze des entwickelten Soll-Konzepts machen die mathematische Ermittlung der Schweißzeit möglich. Aus der CAD-Basis können die erforderlichen Informationen extrahiert werden. Hierbei kann auf unterschiedliche Art und Weise die unbekannte Variable ermittelt werden.¹⁷⁹ So kann der Beziehungszusammenhang zwischen Schweißzeit und Drahtvorschub durch eine einzige Gleichung formuliert werden. Diese lautet:

$$A * v_{sch} = A_z * v_{draht}$$

Für die Bearbeitungszeit ist vorzugsweise die optimale Schweißgeschwindigkeit zu ermitteln.

$$v_{sch} = \frac{d^2 * \pi * v_{draht}}{4 * a^2} \quad \dots \text{ Schweißgeschwindigkeit [m/min]}$$

Bei gegebener Schweißgeschwindigkeit kann der Drahtvorschub (v_{draht} [m/min]) vom Facharbeiter aus der Formel abgeleitet werden und in die Maschineneinstellungen übernommen werden. In der praktischen Anwendung werden die Berechnungsmethoden mit den Lösungsansätzen aus Unterkapitel 4.4 kombiniert. Im Zuge inszenierter Schweißvorführungen können mögliche Zielvorgaben durch Multiplikation der erfassten Ist-Zeiten mit einem vorgegebenen Leistungsgrad definiert werden. Auf diese Weise ergeben sich die Zielwertvorgaben für die Schweißprozesszeiten.

¹⁷⁹ Vgl. Wittmann, Niederer und Friedl, Patent EP 0901865-A2 (1999), [0037].

5.4. produktbezogene Kosten / Prozesskosten

Die Prozesskosten (Herstellkosten) ordnen den Prozessen, den von ihnen verursachten Verbrauch von Produktionsfaktoren zu.¹⁸⁰ Sie beziehen sich im Wesentlichen auf Bezugsgrößen des Personals-, Fertigungs-, Maschinen- und Materialbereichs.¹⁸¹ Gegenständliche Arbeit lässt indirekte Bereiche der Produktentstehung wie z.B. Beschaffung sowie die Gemeinkostenanteile der Verwaltungs- und Vertriebstätigkeiten unberücksichtigt, da ein aussagefähiger BAB für einen entsprechenden Kostenzuschlagsschlüssel fehlt. Sie können aber mit allgemeinen Zuschlagssätzen pauschal angenommen werden. Die Kostenrechnung inkludiert die Fertigungsgemeinkosten in den Stundensätzen der Arbeits- und Maschinenkosten. Die Materialgemeinkosten werden anteilig (z.B. 10 - 15 % der Materialeinzelkosten) zu den Materialeinzelkosten hinzugerechnet und bilden in Summe die Materialkosten. Die Entstehung der Kosten hat drei wesentliche Ursachen:

- Kosten für die Vorbereitung der Transformation (Maschineneinstellung vornehmen, Rüstkosten)¹⁸²
- Kosten für die Verwendung von Produktionsfaktoren (materielle und immaterielle Mittel und Leistungen)¹⁸³
- Kosten für eine schlecht gesteuerte Ablaufplanung (Terminabweichungskosten)¹⁸⁴

Sekundären Charakter haben in der präsentierten Aufgabenstellung Lagerhaltungs-¹⁸⁵ sowie Opportunitätskosten.¹⁸⁶ Die Voraussetzungen zum Erfassen der Gemeinkosten schafft in der Regel eine ausgebaute Kostenrechnung, die jedoch im Unternehmen aufgrund von Unzulänglichkeiten im Verständnis und

¹⁸⁰ Vgl. Stelling (2009), S. 155.

¹⁸¹ Vgl. Stelling (2009), S. 157.

¹⁸² Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 123.

¹⁸³ Vgl. Schlink (2014), S. 7.

¹⁸⁴ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 278.

¹⁸⁵ Vgl. Jung (2010), S. 495.

¹⁸⁶ Vgl. Jung (2010), S. 486.

des Know-hows nicht bzw. nur lückenhaft vorliegt. Deshalb baut der Prozessbeauftragte die Rechenbasis nur mit den von der Kalkulationsabteilung zur Verfügung gestellten Kostensätzen auf. Dieser Zielkonflikt kann vorerst durch eine ebenso aufwändig zu erstellenden Prozesskostenanalyse gelöst werden. Dazu werden erstmalig Prozesskosten erhoben die zur Analyse der Prozesseffizienz beitragen. Aufgrund des Umfangs werden nur vereinzelt Leistungsdaten erhoben, welche die kalkulatorischen, fertigungsrelevanten Vorgabewerte ergänzen und korrigieren. Basierend auf die unterschiedlichen Stücklistenpositionen einer Industrieanlage werden die Durchlaufzeiten aus den Arbeitsplänen oder aus dem Datenbezug der Simulation herangezogen und mit den kumulierten Prozesskosten¹⁸⁷ der Produktion in einem Diagramm zusammengeführt und aufbauend strukturiert. Dabei werden primär die Auswirkungen zwischen Bearbeitungs- und Liegezeiten¹⁸⁸ auf die Kostenentwicklung untersucht. Darauf basierend muss die Konstruktion bzw. die Ablaufsystematik so umstrukturiert werden, dass sämtliche Bearbeitungsaktivitäten nacheinander stattfinden und die Liegezeiten im Anschluss der Bearbeitungsfolgen positioniert werden.¹⁸⁹

5.4.1. Herstellkosten

Aktuell werden im Unternehmen die Herstellkosten für Erzeugnisse über die Gewichtskostenkalkulation (Gesamtgewicht [kg] multipliziert mit einem oder mehreren unterschiedlichen Kalkulationssätzen für bearbeitete Stahlfabrikationen [EUR/kg]) ermittelt. Diese Verfahrensweise bildet den Komplexitätsgrad sowie die Ansammlung verschiedener Einzelteile des zu produzierenden Produktes nur näherungsweise ab. In diesem Unterkapitel wird die gegenwärtige Kalkulationsmethode durch die CAD-integrierten Messmethodik zur Ermittlung der Herstellkosten erweitert. Die Herstellkosten setzen sich entsprechend der differenzierenden Zuschlagskalkulation aus der Summe von Material-, Fertigungs- (Fertigung und Montage) und Sondereinzelkosten der Fertigung zusammen.¹⁹⁰

¹⁸⁷ Vgl. Fiedler (2008), S. 197.

¹⁸⁸ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 247.

¹⁸⁹ Vgl. Kiener, et al. (2012), S. 247.

¹⁹⁰ Vgl. Stelling (2009), S. 44.

Kostenart			z.B. beeinflussbar durch konstruktive Maßnahmen	Wesentlich beeinflussbar durch:	Auf Kostenträger zuordenbar
Herstellkosten	Materialkosten	Materialeinzelkosten MEK	Weniger oder wendiger hochwertiges Material	Einkauf (Lieferant, Rabatt)	Ja
		Materialgemeinkosten MGK	Weniger Teilevielfalt durch Werknormen	Materialwirtschaft, Arbeitsvorbereitung	Nein
	Fertigungskosten	Fertigungslohnkosten FLK	Ersatz von Handarbeit durch Maschinenarbeit, Rohmaterial mit fertiger Oberflächenausführung verwenden (Halbzeuge)	Arbeitsvorbereitung (Rationalisierung)	Ja
		(Hauptzeitkosten)	Weniger zu zerspanendes Aufmaß, gem. der Belastungsfälle berechnete Schweißnahtausführungen.		
		(Nebenzeitkosten)	Weniger eng tolerierte Maße, weniger komplexe Teile (Umspannvorgänge).		
		(Rüstzeitkosten)	Weniger Arbeitsgänge, Anwendung einfacher Konstruktionsnormen.		
		Fertigungsgemeinkosten FGK	Gemeinkostenintensive Arbeitsgänge vermeiden.		Nein
		Sondereinzelkosten der Fertigung SEF	Weniger Sonderwerkzeuge, Vorrichtungen.		Ja

Tabelle 8: Aufbau der Herstellkostenstruktur¹⁹¹

In Tabelle 8 wird die Einflussnahme der Konstruktionsausführung nach den beeinflussten Kostenarten gegliedert. Aus den Inhalten dieser Darstellung lässt sich herauslesen, dass die Gemeinkostenanteile durch konstruktive Maßnahmen positiv beeinflusst werden können. Dahingehend kann das CAD-basierte Rechenschema, wie in Tabelle 9 ersichtlich, strukturiert reformiert werden:

¹⁹¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S.168.

Kostenarten	Kalkulationsschema	
Materialeinzelkosten		MEK
Materialgemeinkosten		+ MGK $(MEK * \frac{MGKZ}{100 \%})$ MGKZ=5-10-20 % üblich)
Materialkosten		= MK
		Maschinenstundensatzrechnung
Fertigungslohnkosten		FLK (Lohnkostensatz*Herstellzeit)
Fertigungsgemeinkosten		+ Maschinenkosten + Restfertigungsgemeinkosten
Fertigungskosten		= FK
Material- und Fertigungs- kosten	MK + FK	
Sondereinzelkosten der Fertigung	+ SEF	
Herstellkosten	= HK	

Tabelle 9: Methode zur Ermittlung der Herstellkosten¹⁹²

Aus dem Rechenschema von Tabelle 9 können die Herstellkosten je Einzelteil oder Baugruppe kurz und prägnant zu

$$HK \left[\frac{\text{EUR}}{\text{Stk}} \right] = \frac{\text{Rüstkosten}}{n} + FEK + MK$$

abgeleitet werden:¹⁹³

Die **Sondereinzelkosten der Fertigung** werden in gegenständlicher Arbeit nicht näher thematisiert und aufgrund des eher niedrigen Kostenanteils, gemessen am Gesamtvolumen, bewusst ausgegrenzt.¹⁹⁴

¹⁹² Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 553).

¹⁹³ In Anlehnung an Schlink (2014), S. 106).

¹⁹⁴ Vgl. Schlink (2014), S. 106.

5.4.2. Materialkosten

Aus verrechnungstechnischer Sicht versteht man unter Materialkosten die mit Preisen bewerteten Verbrauchsmengen¹⁹⁵ an Fertigungs- und Betriebsstoffen sowie Zulieferteilen. Zum Materialverbrauch zählen zusätzlich noch Ausschuss, Abfall und sonstige während des Fertigungsprozesses anfallenden Aussonderungen. Die unterschiedlichen Materialarten weisen zugleich unterschiedliche Kostenarten auf. Wie genau sich die dieser Sachverhalt zusammensetzt, interpretiert Tabelle 10.

Rohstoffe:	Sie gehen als wesentlicher Bestandteil in das Produkt (Kostenträger) ein.	MEK
Hilfsstoffe:	Sie gehen als unwesentlicher Bestandteil ebenfalls in das Produkt ein. (z.B. Verbindungselemente) => können zwar direkt zugerechnet werden, ist aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht zielführend	MGK
Betriebsstoffe:	Sie gehen nicht in das Produkt mit ein, werden aber während des Fertigungsprozesses verbraucht. (Kühlflüssigkeit, Schmierstoffe,...)	MGK

Tabelle 10: Kostenarten des Materials¹⁹⁶

Das Einzelkostenmaterial wird direkt erfasst und kann daher als Einzelkosten dem Kostenträger direkt zugerechnet werden.¹⁹⁷

$$\text{Materialeinzelkosten} = \text{spezifische Materialkosten} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kg}} \right] * \text{Rohgewicht} [\text{kg}]$$

¹⁹⁵ Vgl. Schlink (2014), S. 121.

¹⁹⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an (Schlink (2014), S. 122.

¹⁹⁷ Vgl. Schlink (2014), S. 121.

Materialgemeinkosten sind Materialnebenkosten, die z.B. bei Beschaffung, Lagerung und innerbetrieblichen Transport anfallen. Sie werden nur kostenstellenweise erfasst und über den Kostenverrechnungssatz pro Bezugsgrößeneinheit der jeweiligen Kostenstelle nach Maßgabe der Inanspruchnahme anteilig den Materialeinzelkosten zugerechnet.¹⁹⁸

$$\text{Materialgemeinkosten} = \text{Materialeinzelkosten [EUR]} * \text{MGKZ}$$

Zulieferteile werden als Sonderkosten des Materials verrechnet, um zu verhindern, dass sie die internen Gemeinkostenanteile verfälschen. Die Konzentration auf die Kernkompetenzen bewirkt einen stetig wachsenden Anteil der Gemeinkosten, da schlechtbewertete Prozesse und Standardteile möglichst extern bezogen werden.

$$\text{Materialkosten} = \text{Materialeinzelkosten [EUR]} + \text{Materialgemeinkosten [EUR]}$$

Für Baugruppen bzw. Bauteile mit niedrigem bis mittlerem Komplexitätsgrad üben die Materialkosten einen bedeutenden Kosteneinfluss auf das endgültige Produkt aus.¹⁹⁹

¹⁹⁸ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 430).

¹⁹⁹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 429.

5.4.3. Fertigungskosten

Die **Fertigungskosten** ergeben sich aus der Summe der Fertigungslohnkosten, Fertigungsgemeinkosten und der Sondereinzelkosten der Fertigung für die Teilefertigung und Montage. Die **Fertigungslöhne**²⁰⁰ fallen für Tätigkeiten an, die unmittelbar an den zu erstellenden Bauteilen und Baugruppen geleistet werden. Sie werden den Kostenträgern direkt als Einzelkosten zugerechnet. Die **Maschinenkosten** einschließlich der Gemeinkosten²⁰¹ werden je Kostenstelle separat betrachtet und in die Kostenrechnung platziert. Die **Bearbeitungskosten** errechnen sich grundsätzlich durch Multiplikation der Summe aus Maschinen- und Arbeitsstundensatzes pro Prozess mit der Prozessausführungszeit.²⁰² Die **Rüstkosten**²⁰³ ergeben sich durch Multiplikation der Ein- und Ausspannvorgänge bzw. der Lade- und Entladetätigkeiten in die Maschine (Zeiteinheit gemäß Rüstzeitschlüssel) mit der Summe aus den anteiligen Arbeits- und Maschinenstundenkosten, da die Maschine während der Einrichtung nicht verwendet werden kann (Opportunitätskosten). Die Rüstzeiten werden separat je Bearbeitungsprozess per Zeitaufnahme aufgezeichnet und dokumentiert. Je Stück bedeutet das, dass über den Rüstzeitschlüssel die Rüstkosten entsprechend der Losgrößenverteilung in das zu fertigende Bauteil hinzuzurechnen sind. Die Rüstkosten sind demzufolge vom Materialwerkstoff, die Materialstärke bzw. das Rohmaterialformat und die Stückzahlen abhängig. Außerdem entscheidet die definierte Art der Rüstkostenverteilung über die Aufteilung der Rüstkosten auf die Gesamtanzahl der Bauteile. Je nach Fertigungskonzept werden die Rüstkosten entweder über die Gesamtmenge, einzeln oder in Form einer Losgröße verteilt. In diesem Kapitel werden die Rüstkosten nicht separat angeführt, da sie ohnehin im Anhang eingesehen werden können.

²⁰⁰ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 431.

²⁰¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 431.

²⁰² Vgl. Jung (2010), S. 486.

²⁰³ Vgl. Jung (2010), S. 486.

Rüstkostenverteilung	Mathematischer Ausdruck	Anwenderbeispiel
Über die Gesamtmenge verteilt	$\text{Rüstkosten pro Teil} = \frac{\text{Rüstkosten}}{\text{Gesamtanzahl der Teile}}$	Rüstkosten=100, Gesamtanzahl der Teile=50 Rüstkosten pro Teil = 2
Aufgeteilt auf eine Losgröße	$\text{Rüstkosten pro Teil} = \frac{\text{Rüstkosten}}{\text{Losgröße } n}$	Rüstkosten=100, Losgröße=10 Rüstkosten pro Teil = 10
Einmalige Anwendung auf ein Teil	$\text{Rüstkosten pro Teil} = \text{Rüstkosten}$	Rüstkosten=100 Rüstkosten pro Teil = 100

Tabelle 11: Systematik der Rüstkostenverteilung im Zuge der Bauteilfertigung²⁰⁴

Anhand Tabelle 11 ist zu erkennen, dass in Abhängigkeit der Losgröße sich die Fertigungskosten unterschiedlich auf die Einzel- bzw. Rüstzeiten verteilen können.

(1) Bearbeitungskosten – Kostenstelle Autogen- und Plasmabrennschnitt

Die **Bearbeitungskosten** werden über einen Kostenvergleich ermittelt.²⁰⁵ Dazu bedarf es Statistiken, die über einen längeren Zeitpunkt den Ressourcenverbrauch der Maschine erfassen. Hierbei werden in einem definierten Zeitraum die Parameter Blechdicke und Brennschneidverfahren, den Schneidparametern Einstichanzahl, Schnittmeter, Verschleißteilverbrauch, Gas- und Stromverbrauch gegenübergestellt. Die Bearbeitungskosten verhalten sich nahezu proportional zur Schnittlänge und nehmen weniger als proportional mit der Blechdicke zu. Die Prozesskosten entstehen primär während des Plasma-/ Autogenschneidens, die wesentlich auf die Kostenbeeinflussung wirken. Sie dienen der tatsächlichen Kostenfindung der Schneidvorgänge und repräsentieren die Produktivität der Schneidanlage im Zeitablauf.²⁰⁶

Schnittkosten

$$= \text{Schnittlänge} * \text{Betriebskosten pro Längeneinheit} \\ + \text{Anzahl der Einstiche} * \text{Kosten pro Einstich}$$

²⁰⁴ Eigene Darstellung in Anlehnung an (Jung 2010, S. 486).

²⁰⁵ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 267.

²⁰⁶ Vgl. http://www.hypertherm.com/de/Torches_and_consumables/Hypertherm_plasma_consumables/cost_of_cutting.jsp (2013), 07.12.2013, Uhrzeit: 09:16.

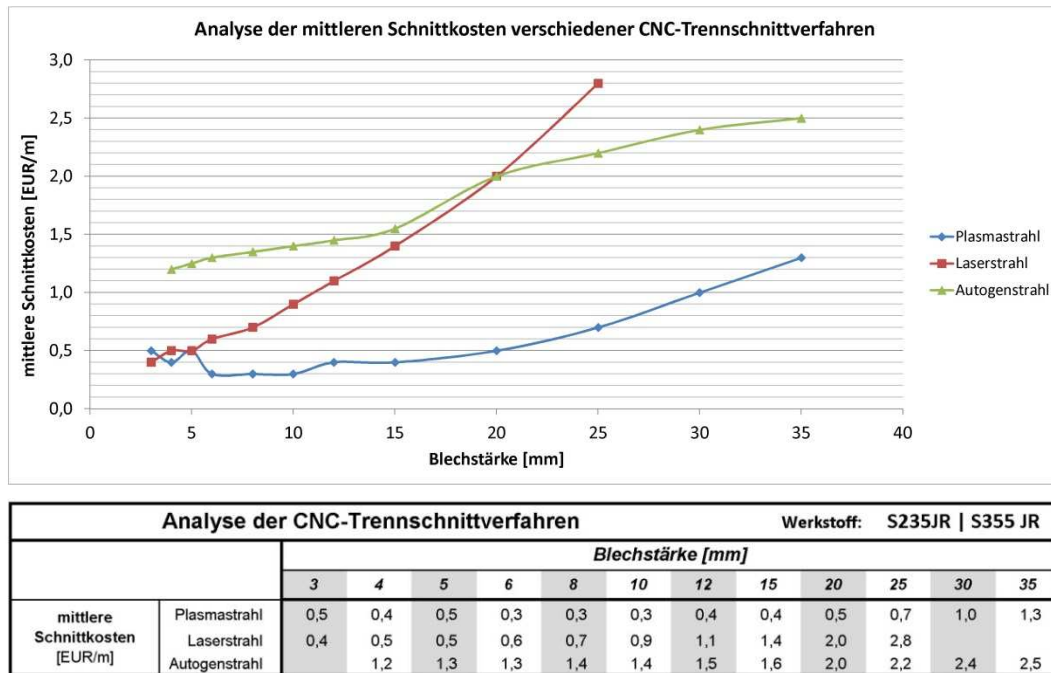


Abbildung 18: mittlere Schnittkosten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren

Der grafische Kurvenverlauf aus Abbildung 18 verdeutlicht die starke Abhängigkeit zwischen Schnittmeterkosten und Blechstärke. Des Weiteren ist zu erkennen, dass die Schnittkosten des Laserstrahlverfahrens bereits ab 5 mm Blechstärke die des Plasmastrahlverfahrens übersteigen und stetig anwachsen. Die technischen Grenzen beider Verfahren sind schließlich bei 25 mm bzw. 35 mm erreicht.

(2) Bearbeitungskosten – Kostenstelle Spanende Bearbeitung

Jedes Bauteil, das vom Roh- in den Fertigzustand transformiert wird, definiert zugleich den Materialausschuss bzw. die Materialausbeute aus dem Grundmaterial. Dieser Differenzbetrag, der vorzugsweise dem abgetragenen Volumenunterschied entspricht, wird nun dazu verwendet, an den Wertmäßigkeiten des Zeitspanvolumens anzuknüpfen und hieraus die resultierenden Prozesszeiten herauszufiltern. Auf Basis der Arbeits- und Maschinenstundenkosten kann durch Multiplikation mit der Bearbeitungszeit die Bearbeitungskosten abgeleitet werden.

(3) Bearbeitungskosten – Kostenstelle Montage

Die Bearbeitungskosten der Kostenstelle Montage umfassen nur die direkten bzw. reinen Schweißprozesse selbst und grenzen diesbezüglich die Vor- und Nachbereitungsmaßnahmen wie Richten, Heften und Schleifen aus. Die aus dem Soll-Konzept abgeleiteten Prozesszeiten werden nun als Zeitkomponente in das Rechenschema zur Ermittlung der Prozesskosten integriert. In den Schweißkosten je Meter sind zusätzlich die Rüstkosten pro Meter Schweißnaht in Abhängigkeit der Kehlnahtdicke mit einbezogen und faktoriieren daraufhin die tatsächlichen Fertigungs- bzw. Montagekosten pro Meter Schweißnahtlänge. Tabelle 12 bringt den erläuterten Sachverhalt auf den Punkt und entspricht vorerst die Sollwertvorgabe für Schweißprozessbewertungen.

Kehlnaht- dicke a	Schweißnahtfläche A_w $a^2 \rightarrow [\text{mm}^2]$	Schweiß- leistung m/min	Schweiß- zeit pro m [min/m]	Kosten Schweiß- zusatz (0,15 EUR/m) einschließlich Laden und Entladen pro m [EUR/m]	Schweiß- kosten einschließlich Laden, Entladen und Zusatz- material pro m [EUR/m]
3 - 6	$5^2 = 25$	0,500	2	0,40	1,39
7	$7^2 = 49$	0,250	4	0,40	2,37
8	$8^2 = 64$	0,167	6	0,40	3,35
9	$9^2 = 81$	0,125	8	0,40	4,34
10	$10^2 = 100$	0,125	8	0,40	4,34
11	$11^2 = 121$	0,100	10	0,40	5,32
12	$12^2 = 144$	0,083	12	0,40	6,30
13	$13^2 = 169$	0,071	14	0,40	7,29
14	$14^2 = 196$	0,062	16	0,40	8,27
15	$15^2 = 225$	0,055	18	0,40	9,25
16	$16^2 = 256$	0,045	20	0,40	10,24
17	$17^2 = 289$	0,041	24	0,40	12,24
18	$18^2 = 324$	0,038	26	0,40	13,24
19	$19^2 = 361$	0,035	28	0,40	14,24
20	$20^2 = 400$	0,031	32	0,40	16,14
21	$21^2 = 441$	0,028	34	0,40	17,14
22	$22^2 = 484$	0,024	38	0,40	19,14
23	$23^2 = 529$	0,021	40	0,40	20,14
24	$24^2 = 576$	0,018	44	0,40	22,14

Tabelle 12: Sollwertvorgabe der Schweißprozesskosten

Die Herstellkosten für Schweißbaugruppen²⁰⁷ werden größtenteils vom Rohteil und dessen mechanischer Bearbeitung bestimmt. In der Praxis ist das Baugruppengewicht das ausschlaggebende Kriterium zu deren Gewichtungsverhältnis. Bei Baugruppen bis zu einigen 100 kg Gewicht sind die Kosten des Rohteils sowie die der Bearbeitung gleichermaßen von Bedeutung. Liegt der Masseanteil der Schweißbaugruppe bei einigen 1000 kg, so rücken die Rohteilkosten einschließlich der Materialkosten in den Vordergrund operativer Einsparungsmaßnahmen. Das bedeutet, dass Materialreduzierungsmaßnahmen ein effektiveres Kosteneinsparungspotenzial mit sich bringen als auf die Reduzierung von Bearbeitungsvorgängen zu setzen. Die Kosteneinsparungen sind praktisch überwiegend durch die Anwendung dünnerer Materialstärken realisierbar. Der daraus resultierende negative statische Belastungsgrad der Baugruppe wird durch zusätzliche Aussteifungselemente (Verrippung) oder durch die Verwendung qualitativ höherwertigerer Materialgüten wiederhergestellt. Oftmals verbessern sich durch gekantete Baugruppenaussteifungen die Widerstandseigenschaften, da sie aufgrund elastischer Charakteristiken die dynamischen Belastungsfälle besser kompensieren.

²⁰⁷ Vgl. Deutscher Verband für Schweißen und verw. Verfahren, (2009), Kapitel 3.03-1, S. 1.

6. Optimieren der Produktentstehung

Die Optimierung definiert sich in der Aufgabe, Prozessabläufe sowie Konstruktionsvarianten mit Hilfe der debattierten Methoden, Werkzeuge und Maßnahmen zu verbessern, die durch Modifikation der Gestaltung und Simulation geschaffen werden. Der Optimierungsprozess sollte bei den Zwischenzielen verbesserte Produktivitätsindizes hervorbringen als die vorangegangenen Zusammenstellungen bzw. im Gesamten das angestrebte Hauptkostenziel entsprechen. Optimierungsentscheidende Einflüsse können hierbei über die Realisierung der Leistungsanforderung im Sinne der Produktqualität sowie die Veränderung der Prozessqualität selbst ausgelöst werden, dessen Ergebnis die Anforderungen der Leistungserstellung widerspiegelt.²⁰⁸ Sämtliche Leistungsdaten, Messgrößen und Informationen bezieht der Autor gegenständlicher Arbeit vollständig aus dem unternehmensinternen Produktentstehungsprozess einer kundenspezifischen Betonier-Schachtschalung für das Wasserkraftwerk „Kaunertal“. Dabei werden interne Konstruktionsvarianten und Fertigungsprozesse durchleuchtet und auf Strategiekonformität überprüft.

6.1. Messung projektbezogener Bauteile und Baugruppen

Die Zielvorgabe definiert sich in der Konzeption eines CAD-integrierten Werkzeuges, dessen Funktion durch eine Kosten-, Termin- und Fehlerfrühzeiterkennung bestimmt wird. So können Zielwertabweichungen bereits im Entwicklungsprozess und nicht erst während der Fertigungsprozesse aufgespürt werden. In diesem Stadium der Produktentstehung sind praktisch noch monetär günstige Korrektur- und Verbesserungsmaßnahmen der Detailkonstruktionsvarianten²⁰⁹ möglich. Außerdem wird die Wahl verbesserter Fertigungsmethoden bzw. Entscheidungen für Outsourcing-Unternehmungen unterstützt. Deshalb versprechen auch der Aufbau und die Verwendung von Messmethoden

²⁰⁸ Vgl. Jung (2010), S. 484.

²⁰⁹ Vgl. Bertsche und Bullinger (2007), S. 124 f.

innerhalb der CAD-Infrastruktur erstmals entscheidende Wettbewerbsvorteile in der kundenspezifischen Anlagenentstehung gegenüber den Mitbewerbern.

Der qualitative Zustand eines Erzeugnisses bestimmt sich im Wesentlichen durch die Übereinstimmung der Ist- und Sollcharakteristiken. Je früher dieses Leistungsniveau in der Produktentstehung erreicht wird, umso eher werden die definierten Zielkosten eingehalten bzw. im Idealfall sogar unterschritten.²¹⁰ Die Messmethode an sich stützt sich auf die Datenbasis der analysierten Produktionsprozesse. Aus den erfassten und dokumentierten Prozessinhalten werden absolute Produktionsprozesskennzahlen abgeleitet, die für operative Messungen herangezogen werden und die Konstruktionsvarianten in deren Eigenschaftsstrukturen steuern und in weiterer Folge positiv verändern. Darauf aufbauend werden die allgemeinen und fertigungsspezifischen Einflussfaktoren in die CAD-basierte Messmethodik integriert und begünstigen zudem die Bestimmung wirtschaftlicher Entscheidungen zur Best Case. Bei der Analyse mehrerer unterschiedlicher Ausführungen wird die Unterteilung der Varianten in Worst-, Normal- und Best Case Lösungen erheblich erleichtert. Teilergebnisse beispielhafter Untersuchungsobjekte können im Anhang (Kapitel 3.1) eingesehen werden. Diese Auszüge werden für den anschließenden Bewertungsprozess exemplarisch herangezogen und in die Systematik eingegliedert.

²¹⁰ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 292.

6.2. Bewertung von projektbezogenen Bauteilen und Baugruppen

Ziele müssen vorbeugend abgesichert werden, indem Bauteile, Baugruppen oder Herstellprozesse auf Chancen und Risiken untersucht werden, um sie im Anschluss zu bewerten.²¹¹ Bewerten bedeutet, die Wertzuweisung und Gewichtung der ermittelten Eigenschaften.²¹² Um die erstellten Gestaltungsvarianten einer kundenspezifischen Anlage wirtschaftlich bewerten zu können, muss eine gemeinsame Bewertungsgrundlage sichergestellt sein. Das bedeutet, gleiche Funktionserfüllung bei allen Bearbeitungsvarianten, gleiche Materialflussschnittstellen zur Anbindung an die Bearbeitungsorganisation sowie gleiche Bauteil- und Baugruppenfunktionscharakteristiken. Ein mögliches Konzept zur Erarbeitung kostengünstiger Lösungsansätze sieht die schrittweise Prozess- und Variantenbewertung mit Einbezug der methodischen Vorgehensweise der FMEA vor. Im Rahmen der allgemeinen Konstruktionsmethodik kann die systematische Abfolge entsprechend nachfolgender Gliederung aufgeschlüsselt werden.

Das **Konzept** sollte aus möglichst einfachen Teillösungen bestehen, die sich mit anderen Varianten auch kombinieren lassen können. In der Konzeptphase können Veränderungen der Gestalt (Wirkflächen, Abmessungen, Lage der Baugruppen, Stückzahl, Material,...) und der physikalischen Eigenschaften zu den erforderlichen Resultaten führen. Im **Entwurfsstadium** wird das Bauteil bzw. die Baugruppe soweit konkretisiert, dass Veränderungen indirekter Konstruktionseinflüsse wie Materialart, Fertigungs- und Montageverfahren gewünschte Lösungen erzeugen. Darüber hinaus können fertigungsspezifische Bauweisen variiert werden. Analog zur vorangegangenen Verfahrensweise interpretiert die **Ausarbeitungsphase** selbige Methoden, jedoch komplettiert sie durch Veränderung der Konstruktionsdetails die Methode.²¹³

²¹¹ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 56 f.

²¹² Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 75.

²¹³ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 68 f.

Mit Blick auf die Balance zwischen Kunden- und Herstellernutzen treten aufgrund kostenreduzierender Handlungsalternativen unausweichlich Unsicherheiten in der Entscheidungsfindung auf. Exemplarisch kann eine Design-FMEA²¹⁴ die Unsicherheiten abschwächen. Inwieweit dieses subjektive Verfahren zum wirtschaftlichen Erfolg beiträgt, hängt davon ab, mit welchem Detaillierungsgrad die Risikofelder aufgenommen und gewichtet werden. Im Hinblick der Präzision ist die FMEA eine äußerst aufwendige Methode, deren Informationsqualität hauptsächlich vom Know-how der Urheber und der Verwendung der vorliegenden Leistungsdaten abhängt. Darüber hinaus müssen die Streubereiche der entwickelten Leistungsdaten einkalkuliert werden, die von der Simulation der Konstruktionsvarianten stammen. Aus dem vorliegenden Sachverhalt resultieren wiederum Unsicherheiten, die zukünftig im Laufe des Verbesserungsprozesses kontinuierlich abgeschwächt und schließlich ausgehebelt werden sollen.

6.3. Aggregation der Teilergebnisse zu einem Gesamtergebnis

Am Ende dieser strukturierten Vorgehensweise bildet die Optimierungsmethodik des Bewertungsprozesses die Konstruktionsvariante so ab, dass vorläufig die Best-Case-Situation für das Vorhaben erreicht ist. Die gewonnen Erkenntnisse, die im Anhang ersichtlich sind, werden im nachfolgenden Kapitel zusammengefasst und verhelfen entweder zur Problemlösungsfindung oder generieren Leistungserhöhungen innerhalb der Prozesskette. Hauptsächlich beeinflusst diese Veränderungsstrategie die Zielkostenplanung im positiven Sinne.

²¹⁴ Vgl. Fiedler (2008), S. 42.

Gewinnabsichten	Kostenvorgabe Kunde	optimierte Herstellkosten	Zielwert	Zielkosten / Teilzielkosten
<u>15,00%</u>	<u>124.630,50</u>	<u>98.810,59</u>		<u>98.810,59</u>
Baugruppe 10: Firstschalung:				
Material		7.451,83		7.810,21
Zukauf		0,00		4.643,35
Bearbeitung		13.643,20		10.313,27
Rüsten		6.242,00		5.929,90
Montage / Schweißen		584,25		584,25
Summe der Standard / Teilzielkosten		27.921,28		29.280,98
Baugruppe 20: Seitenschalung links				
Material		5.404,15		5.905,87
Zukauf		0,00		3.379,75
Bearbeitung		11.415,59		8.197,04
Rüsten		4.420,00		4.199,00
Montage / Schweißen		462,65		462,65
Summe der Standard / Teilzielkosten		21.702,39		22.144,31
Baugruppe 30: Bodenschalung				
Material		4.276,63		4.857,28
Zukauf		0,00		2.542,42
Bearbeitung		10.047,13		6.897,00
Rüsten		3.728,33		3.541,91
Montage / Schweißen		399,00		379,05
Summe der Standard / Teilzielkosten		18.451,09		18.217,66
Baugruppe 30: Seitenschalung rechts				
Material		7.419,43		7.780,08
Zukauf		0,00		4.643,35
Bearbeitung		13.614,60		10.286,10
Rüsten		6.189,00		5.879,55
Montage / Schweißen		609,00		578,55
Summe der Standard / Teilzielkosten		27.832,03		29.167,63
		95.906,79		98.810,59
Kostenvorgabe Kunde	124.630,50	Ziel Herstellkosten	98.810,59	
abzüglich Skonto 0%	0,00	zzgl. 11,5% Gemeinkosten	11.363,77	
		zzgl. 14,6 % Gewinn	14.387,83	
Vorgabe Zielpreis	124.630,50	Zielpreis	124.562,19	

Tabelle 13: optimierte Herstellkosten auf Basis der Best Case Varianten

Die Eigenfertigung der eingerollten Bleche, als auch die optimierten statischen Bedingungen hätten dazu geführt, dass die Best Case Lösungen den erwünschten Kosteneffekt auf die gesamte Zielkostenstruktur bewirkt hätten und die Sollkriterien sogar unterschritten hätten. Über die Unternehmensgrenzen hinaus setzt das kontinuierliche Prozessmanagement ein, in der die Prozesse bzw. die Produktvarianten durch kontinuierliches Benchmarking sowie regelmäßige Aktualisierung angepasst und verbessert werden.²¹⁵

²¹⁵ Vgl. Hanschke und Lorenz (2012), S. 15 f.

7. Schlussbetrachtung

Die Schlussbetrachtung fasst die Ergebnisse des Mess- und Bewertungsprozesses gegenständlicher Arbeit nochmals zusammen. Einerseits werden die positiven Errungenschaften herausgearbeitet, aber andererseits werden auch markante Problemfelder des verwirklichten Lösungsansatzes kritisch beurteilt. Der Schluss skizziert offengelegte Konsequenzen der umgesetzten Lösungsansätze. Nichtsdestotrotz versprechen verstärkte Anstrengungen in dieses prozessorientierte Konzept einen optimistischen Blick in die Zukunft für die Unternehmensorganisation.

7.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Anbetracht der negativen finanziellen Entwicklung des Unternehmens, müssen die Gründe für die gegenwärtige Belastung bestimmt werden. Willkürliche Schlussfolgerungen, die Liquiditätsprobleme alleinig der rückläufigen Konjunktur zuzuschreiben, wäre eine grob fahrlässige Verharmlosung des tatsächlichen Ursprungs und gleichzeitig die Garantie für das Wiedereintreten einer liquiditätsbedingten Handlungsunfähigkeit der Organisation. Um diesem negativen Trend entgegenzutreten, wird die Beurteilung fertigungsorientierter Produktivitätsindizes erforderlich, da der Produktentstehungsprozess das Kerngeschäftsfeld darstellt und hier die größten substantiellen Einflussfaktoren vermutet werden. Die Identifizierung von Fehlerquellen ist allein durch subjektive Annahmen nicht zu stemmen. Hierfür müssen die Einflussfaktoren und Kriterien für das Zustandekommen einer produzierten Menge im Verhältnis zu den eingesetzten Unternehmensressourcen zahlenmäßig bekannt sein. Entsprechend der Situation werden die zukünftigen Herausforderungen des metallverarbeitenden Gewerbes tendenziell im Aufbau einer prozesssicheren und quantitativ erfassten Ablauforganisation liegen. Kosten- und Zeitsenkungsstrategien müssen schwerpunktmäßig in das Prozessgeschehen verankert werden und markieren die primären Forderungen an

ein operatives Prozessmanagement das im Wesen durch das strategische Management bestimmt wird.

Aus der Zielkostenplanung ist jedoch zu erkennen, dass der Arbeitsvorgang Schweißen nur etwas über 2% der Herstellkosten für die gesamte Schalungshaut ausmacht und deshalb eher sekundären Charakter in der Gesamtanalyse einnimmt. Das Heften und Richten der Bauteile sind im Fertigungsbereich enthalten. Vor allem die Materialkosten, als auch die Einzelbauteilherstellung sowie sämtliche Vorbereitungsmaßnahmen für die Baugruppenfertigung belasten vielmehr die finanziellen Mittel des Unternehmens als der Schweißprozess selbst und machen den Großteil der Herstellkosten aus. Die Zusammenstellung der Ergebnisse sieht wie folgt aus:

Materialkosten: Der Anteil des Materials weist mit ca. 43 % der Gesamtherstellkosten eine beachtliche Größenordnung auf. Deshalb müssen auch die Einzelkostensätze je Kilogramm äußerst exakt in Abhängigkeit zu den variablen Materialeigenschaften aufgenommen und dokumentiert werden. Diese variablen²¹⁶ Charakterzüge bewirken, dass der Konstrukteur z.B. bei überdimensionierten Konstruktionsausführungen im Sinne von aussergewöhnlichen Materialstärken unnötig negative Kostenentwicklungen erzeugt. Grundsätzlich gilt, je weniger Fertigungskosten das Bauteil enthält, umso weniger kann der Preis auf die Stückzahl reagieren. Der Materialkostenanteil ist relativ groß, sodass Gewichtseinsparungen durch niedrigere Materialstärken im Zuge der Verwendung höher wertigerer Materialien zunehmende Kosteneinsparungen mit sich bringen.

- **Fertigungskosten Rohbaugruppe:** Die Fertigung von Einzelteilen, das Positionieren dieser Teile und das anschließende Heften und Richten machen ca. 55 % der Herstellkosten aus. Die Zeitstruktur verhält sich analog zu diesem Sachverhalt. Deshalb muss die Gesamtkonstruktion immer auf die allgemeinen und fertigungsspezifischen Einflussfaktoren geprüft werden. Die Reduzierung der Teilezahl, eine mögliche Gewichtsreduktion sowie die

²¹⁶ Vgl. Schlink (2014), S. 107.

einfache konstruktive Gestaltung spielen dabei immer eine erfolgsbestimmende Rolle. In diesem Sinne wird es zunehmend wichtiger, die Einflussfaktoren in die Berechnungsmethodik mit einfließen zu lassen, damit das Verständnis dynamischer Auswirkungen schlüssiger nachzuvollziehen ist.

- **Bearbeitungskosten:** Bei der spanenden Bearbeitung zeigen sich durch zu fein tolerierte Bearbeitungsflächen und kompliziert gestalteter Konstruktionselemente außerordentlich negative Bewertungsergebnisse. Deshalb muss der Toleranzbereich so grob wie möglich gewählt bzw. die Zahl bearbeiteter Flächen weitestgehend verringert werden.
- **Rüstkosten:** Die Rüstkosten spielen vor allem bei den rationellen Fertigungsmöglichkeiten eine wesentliche Rolle. Im Grunde soll der Konstrukteur darauf achten, die Teilevielfalt auf ein Minimum zu reduzieren, funktionsvereinigende Konstruktionen zu schaffen und die Losgrößen auf ein Maximum der verfügbaren Kapazitäten auszuweiten um damit auf die Forderung nach standardisierten Wiederholteilen bzw. Werksnormen einzugehen.

- **Montage – Schweißen**

Die Schweißzeit verhält sich in erster Näherung proportional zur Schweißnahtmasse. Unterbrochene Schweißnahtfolgen stören hinsichtlich des Bearbeitungsflusses markant den Schweißprozess. Deshalb sind lange, dünne Schweißnähte den kurzen, dicken und unterbrochenen Schweißnähten vorzuziehen. Alles in allem zählt der Schweißprozess mit seinen 2 % Kostenanteil zu den sekundären Betrachtungsfeldern des Produktentstehungsprozesses und hätten, aus objektiver Sicht betrachtet, nicht in diesem Detaillierungsgrad ausgearbeitet werden müssen.

7.2. Kritische Beurteilung der Ergebnisse

Das DV-System und die komplexen Prozessbereiche ermöglichen zwar Rationalisierungseffekte, erfordern aber auch einen umfangreichen Pflegeaufwand. Die Voraussetzung für die Verlässlichkeit und Verfügbarkeit des CAD-integrierten Messwerkzeuges sind aktuelle und richtig synchronisierte Datensätze. Einerseits verlassen sich die Prozessinhaber vielfach auf die computergesteuerte Systemunterstützung, aber andererseits wird die Korrektheit rechnerunterstützter Prozessschritte mit zunehmendem Automatisierungsgrad nur noch sporadisch überprüft. Hieraus resultieren maßgebende Einflüsse auf fertigungsbedingte Streuungen in den Rüst- und Nebenzeiten, die aufgrund der unterschiedlichen Zeitermittlungsmöglichkeiten der Arbeitsvorbereitung entstehen. Um die Lebenslaufkosten außer Acht zu lassen ist das kennzahlen-gesteuerte CAD-integrierte Werkzeug in dem Sinne eingeschränkt, dass es zumal nur die Herstellkosten erfasst und die Selbstkosten unberücksichtigt lässt bzw. nur durch pauschale Annahmen einbindet. Im Grunde bildet die alleinige Abbildung der Herstellkosten im besten Fall 80 % der tatsächlichen Selbstkosten ab.

Die, für das CAD-integrierte Werkzeug angewandte differenzierende Zuschlagskalkulation ist im Maschinenbau weit verbreitet. Diese Kalkulationsmethode bedarf lediglich der Kostentrennung in Kostenträgereinzel- und Kostenträgergemeinkosten.²¹⁷ Hierfür wird keine Kostenstellenrechnung vorausgesetzt, was wiederum die Genauigkeit beeinträchtigt und als Kostenrechnungsart nicht dem Verursachungsprinzip entspricht. Außerdem gestaltet sich die Aussagefähigkeit der Kontrollmechanismen über die Maschinenstundensatzkalkulation als äußerst kritisch, da im Falle von Planabweichungen eine Variantenanalyse nicht widerspruchsfrei vorgenommen werden kann. Darüber hinaus existiert im Wesentlichen keine prozessindividuelle Betrachtung, da bei einem Gesamtkostenzuwachs auch die Prozesskostensätze innerhalb der Kostenstellen proportional gleich steigen. In dem vorliegenden Fall beschränkt sich die Analysemöglichkeit auf den Kostensatz pro Stunde in der Kostenstelle. Die Einbußen zeigen sich in

²¹⁷ Vgl. Ehrlenspiel, et al. (2014), S. 429.

der Effizienzermittlung, da die Ist-Prozesskosten höher als die Plan-Prozesskosten sind. So ist es schwierig, Effizienzoptimierungen durch die Veränderung der Prozesskostensätze mit gutem Gewissen darzulegen.

7.3. Fazit und Ausblick

Mit dem Werkzeug konnten erste praktische Erfahrungen in der kostenrechnerischen und terminlichen Steuerung der Leistungen gemacht werden. Aus den durchaus positiv zu bewertenden Ergebnissen kann der Simulationstechnik ein großes Chancenpotential für das Unternehmen zugesprochen werden, da es unter anderem eine gewisse Bewusstseinsbildung in den Köpfen der Prozessträger auf entscheidungsbasierte Prozesszusammenhänge und Auswirkungen schafft. Jedoch darf berechtigterweise auch angezweifelt werden, dass die vorgestellte simulative Kostenrechnungsmethode die Kosten- und Zeitverursachung nicht richtig abbildet, da wesentliche Bestandteile der Gemeinkostenverteilung außer Acht gelassen werden und die zeitlichen Bestimmungen relativ sind. In Hinblick auf die fehlende Kostenstellenrechnung wird zur Bekämpfung dieses Defizites der Aufbau eines BAB's erforderlich, in welchem die Kalkulationssätze für die Kostenstellen ermittelt werden.²¹⁸ Darüber hinaus soll zukünftig eine PKR eingeführt werden, die auf Grundlage der Prozessanalyse eine fortlaufende Überwachung der Prozesskosten bietet. Dadurch wird die Gegenüberstellung der Prozesskosten und -erträgen sowie ein Effizienzvergleich mit Prozessen des Benchmarking-Partners forciert. Darauf aufbauend versucht das Unternehmen das CAD-integrierte Werkzeug so zu konzipieren, dass die aus dem BAB stammenden Gemeinkostenzuschlagssätze durch die aktuell verwendeten Maschinenstundenzuschlagssätzen ersetzt werden. Dadurch lässt sich der Gemeinkostenanteil verursachungsgerecht den jeweiligen Kostenstellen zuweisen, was die gegenwärtig errechneten Ergebnisse zunehmend präzisieren würde. Alles in allem verfolgt das Konzept die zentrale Aufgabe, innerhalb wie auch außerhalb der Organisation, die Transparenz aufzuwerten, marktfähige Erzeugnisse zu verwirklichen und die Umsatzrendite auf den geforderten Zielwert zu stärken.

²¹⁸ Vgl. Stelling (2009), S. 44.

Literaturverzeichnis

Bücher

[Awiszus/Bast/Dürr 2012]

Awiszus, Birgit / Bast, Jürgen / Dürr, Holger und Matthes, Klaus-Jürgen: *Grundlagen der Fertigungstechnik, 5., aktualisierte Auflage* – München: Hanser Verlag, 2012.

[Bertsche/Bullinger 2007]

Bertsche, Bernd und Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg): *Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping - Grundlagen, Rahmenbedingungen und Realisierung, 1. Auflage* – Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2007.

[Bracht/Geckler/Wenzel 2011]

Bracht, Uwe / Geckler, Dieter und Wenzel, Sigrid: *Digitale Fabrik - Methoden und Praxisbeispiele, 1. Auflage* – Heidelberg: Springer Verlag, 2011.

[Conrad 2013]

Conrad, Klaus-Jörg: *Grundlagen der Konstruktionslehre - Methoden und Beispiele für den Maschinenbau und die Gerontik, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage* – München: Hanser Verlag, 2013.

[Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann/Mörtl 2014]

Ehrlenspiel, Klaus (Hrsg.) / Kiewert, Alfons / Lindemann, Udo und Mörtl, Markus: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren - Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 7. Auflage* – Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, 2014.

[Ehrlenspiel/Meerkamm 2013]

Ehrlenspiel, Klaus und Meerkamm, Harald: *Integrierte Produktentwicklung - Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 5., überarbeitete und erweiterte Auflage* – München: Hanser Verlag, 2013.

[Fahrenwaldt/Schuler 2011]

Fahrenwaldt, Hans J. und Schuler, Volkmar: *Praxiswissen Schweißtechnik - Werkstoffe, Prozesse, Fertigung, 4., überarbeitete Auflage* – Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011.

[Fiedler 2008]

Fiedler, Rudolf: *Controlling von Projekten - Mit konkreten Beispielen aus der Unternehmenspraxis - Alle Aspekte der Projektplanung, Projektsteuerung und Projektkontrolle, 4., verbesserte Auflage* – Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2008.

[Fischer 2008]

Fischer, Jan O: *Kostenbewusstes Konstruieren - Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess, 1. Auflage* – Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, 2008.

[Glaser/Geiger 1992]

Glaser, Horst / Geiger, Werner und Rohde, Volker: *Produktionsplanung und -Steuerung - Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, 2., überarbeitete Auflage* – Wiesbaden: Gabler Verlag, 1992.

[Hanschke/Lorenz 2012]

Hanschke, Inge und Rainer Lorenz: *Strategisches Prozessmanagement - einfach und effektiv, 1. Auflage* – München: Hanser Verlag, 2012.

[Herlyn/ 2012]

Herlyn, Wilmljakob: *PPS im Automobilbau - Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten, 1. Auflage* – München: Hanser Verlag, 2012.

[Hesse/Krahn/Eh 2012]

Hesse, Stefan / Krahn, Heinrich und Eh, Dieter: *Betriebsmittel, Vorrichtung - Grundlagen und kommentierte Beispiele, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage* – München: Hanser Verlag, 2012.

[Hinterhuber 2004]

Hinterhuber, Hans H: *Strategische Unternehmensführung - Strategisches Handeln, 7., grundlegend neu bearbeitete Auflage* – Berlin: Schmidt Verlag, 2004.

[Hirt/Bez/Nussbaumer 2011]

Hirt, Manfred A. / Bez, Rolf und Nussbaumer, Alain: *Stahlbau - Grundbegriffe und Bemessungsverfahren, 1. Auflage* – Lausanne: PPUR Verlag, 2007.

[Hungenberg 2012]

Hungenberg, Harald: *Strategisches Management in Unternehmen - Ziele, Prozesse, Verfahren, 7. Auflage* – Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 2012.

[Jankulik/Kuhlang/Pfiff 2005]

Jankulik, Ernst / Kuhlang, Peter und Pfiff, Roland: *Projektmanagement und Prozessmessung - Die Balanced Scorecard im projektorientierten Unternehmen, 1. Auflage* – Erlangen: Publicis Verlag, 2005.

[Jung 2010]

Jung, Hans: *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 12., aktualisierte Auflage* – München: Oldenbourg Verlag, 2010.

[Kiener/Maier-Scheubeck/Obermaier/Weiß 2012]

Kiener, Stefan / Maier-Scheubeck, Nicolas / Obermaier, Robert und Weiß, Manfred: *Produktionsmanagement - Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, 10., verbesserte und erweiterte Auflage* – München: Oldenbourg Verlag, 2012.

[Klein 1997]

Klein, David A: *The Strategic Management of Intellectual Capital, 1. Auflage* – Woburn, UK: Routledge Verlag, 1997.

[Mertins/Kohl 2009]

Mertins, Kai und Kohl, Holger: *Benchmarking - Leitfaden für den Vergleich mit den Besten*, 2., überarbeitete Auflage – Düsseldorf: Symposion Verlag, 2009.

[Sabisch/Tintelnot 1997]

Sabisch, Helmut und Tintelnot, Claus: *Integriertes Benchmarking - für Produkte und Produktentwicklungsprozesse*, 1. Auflage – Berlin: Springer Verlag, 1997.

[Schlink 2014]

Schlink, Haiko (Hrsg.): *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure - Grundlagen für die Entwicklung technischer Produkte*, 1. Auflage – Wiesbaden: Springer Gabler Verlag, 2014.

[Schulte-Zurhausen 2014]

Schulte-Zurhausen, Manfred: *Organisation*, 6. Auflage – München: Vahlen Verlag, 2014.

[Siebert/Kempf 2008]

Siebert, Gunnar und Kempf, Stefan: *Benchmarking - Leitfaden für die Praxis*, 3. Auflage – München: Hanser Verlag, 2008.

[Stelling 2009]

Stelling, Johannes N.: *Kostenmanagement und Controlling*, 3., unveränderte Auflage – München: Oldenbourg Verlag, 2009.

[Wannenwetsch 2009]

Wannenwetsch, Helmut: *Erfolgreiche Verhandlungsführung in Einkauf und Logistik*, 3., aktualisierte und ergänzte Auflage – Berlin: Springer Verlag, 2009.

[Weber 2009]

Weber, Rainer: *Zeitgemäße Materialwirtschaft mit Lagerhaltung - Zeitgemäße Materialwirtschaft mit Lagerhaltung: Flexibilität, Lieferbereitschaft, Bestandsreduzierung, Kostensenkung - Das deutsche Kanban*, 9., neu bearbeitete Auflage – Renningen: Expert Verlag, 2009.

Artikel aus Fachzeitschriften

[Dimitrellou/Diplaris/Sfantsikopoulos 2013]

Dimitrellou, S. Ch. / Diplaris, S. C. und Sfantsikopoulos, M. M.: Cost-competent tolerancing in CAD, in: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 06-07/2007: S. 519-526.

Quellen aus dem Internet

[Engroff 2012]

Bernd, Engroff: Praktischer Einsatz von Kennzahlen und Kennzahlensystemen in der Produktion, 2. Auflage – URL: <http://www.awf-arbeitsgemeinschaft.de/download/AWF-Leitfaden-Kennzahlen-in-der-Produktion.pdf>

[Zitat vom 23. 07 2014.]

[Christiani 2014]

Christiani GmbH & Co. KG, Paul: Schweißnahtberechnung – URL: http://www.christiani.de/pdf/81198_probe.pdf, [Zitat vom 26. 12 2014.]

[Europa 2014]

Was ist ein KMU – URL: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/facts-figures-analysis/sme-definition/index_de.htm, [Zitat vom: 11. 01 2015.]

[Hypertherm 2014]

Hypertherm: Berechnen der tatsächlichen Kosten des Metallschneidens – URL: http://www.hypertherm.com/de/Torches_and_consumables/Hypertherm_plasma_consumables/cost_of_cutting.jsp, [Zitat vom 07. 12 2013.]

[Kenter 2013]

Kenter, I. M: *Laborskript: Werkzeuge und Einstellparameter*, – URL: http://www.hs-bremen.de/internet/einrichtungen/fakultaeten/f5/abt1/forschung/labore/fertigungstechnik/zers_skript_werkzeuge_und_einstellparameter_stand_2013.pdf, [Zitat vom 05. 12 2014.]

Patentrechte und sonstige Quellen**[DVS 2009]**

Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren: Internationaler Schweissfachingenieurlehrgang nach Richtlinie DVS -IIW 1170, *Grundlagen der Statik der Tragkonstruktionen* – Mannheim: DVS Verlag, 2009.

[Wittmann/Niederer/Friedl 2009]

Patent EP 0901865-A2 (18.11.1999): Wittmann, Manfred / Niederer, Franz und Friedl / Helmut: Verfahren zum steuern eines Schweißgerätes und Steuervorrichtung hierfür: PCT/AT1999/000123 (17. 03 1999).

Anhang

Im Rahmen der Zielloptimierung wird anhand eines Fallbeispiels die praktische Anwendung des CAD-integrierten Simulationswerkzeuges für die Ermittlung der Best-Case dargestellt. In diesem Abschnitt ist ein Auszug des Datenmaterials dokumentiert, die für die Bewertungsmethodik herangezogen werden. Diese Informationen ergänzen auf substanzielle Weise die im Hauptteil entwickelten Lösungsansätze. Das Ergebnis der Analyse-, Mess- und Bewertungsinitiative sind verbesserte Konstruktions- und Prozessausführungsvarianten des Zielsystems.

Bevor die Implementierungsphase des CAD-integrierten Messinstrumentes eingeleitet werden kann, müssen technische Details im Rahmen der IT-Anpassung zur Schnittstellenprogrammierung geklärt werden. Die jeweiligen Prozessinhaber müssen den Grad der internen Umsetzungsmöglichkeiten eruieren, damit der Umfang an externen Unterstützungsleistungen ersichtlich wird. SolidWorks bietet vorzugsweise ein bereits integriertes Zusatzmodul, das freigeschaltet werden kann und den Entwicklungsaufwand für das Messwerkzeug drastisch reduziert. Dieses Management-Werkzeug ist auf die interne Organisation auszulegen, sodass sich die Qualität der Ergebnisse in einem akzeptablen Toleranzbereich der internen Prozesswiedergabe befindet.

Vorweg ist zu bedenken, dass die mit dem CAD-Werkzeug berechneten Kosten und Absolutkennzahlen nur so genau sind wie die in der Zentraldatenbank hinterlegten produktionsspezifischen Daten. Die Herstelldaten müssen entsprechend den geometrischen und technologischen Informationen der internen und externen Prozessanalyse aufgenommen werden, um die Ausführungsvarianten realistisch simulieren zu können. Montageprozesse wie z.B. Schweißoperationen oder sonstige Fügeoperationen, können nicht mit dem CAD-integrierten Messwerkzeug gemessen werden. Für diese Prozesse werden manuelle Messverfahren auf Basis des erstellten Soll-Konzeptes herangezogen.

Fallbeispiel: „Variantenvergleich von Bauteil- und Baugruppenkonstruktionen am Beispiel einer Fullround-Schalung für das Wasserkraftwerk Kaunertal“

In den folgenden Kapiteln erfolgt in Anlehnung der behandelten Themenbereiche die praktische Umsetzung eines kennzahlengesteuerten, CAD-integrierten Simulationswerkzeuges zur Messung und Bewertung verschiedener Konstruktionsvarianten.

A-1 Aufgabenstellung

Der Ausgangspunkt des Fallbeispiels begründet sich in der Konzipierung und Fertigung einer Fullround-Schalung für Betonierarbeiten einer kreisrunden Stollenröhre, wobei nur auf die äußere Schalungshaut eingegangen wird. Ziel ist es, anhand der Leistungsdaten die verschiedenen Variantenperformances richtig zu interpretieren und die Best-Case einzuführen. Dabei sind die Grundsätze der Prozessorientierung stets anzuwenden. Die Anforderungen an die Konstruktion sind nachstehend kurz und prägnant aufgelistet:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| ▪ Gewicht gesamte Schalung: | ca. 60 Tonnen |
| ▪ Gewicht Schalungshaut: | ca. 24 Tonnen |
| ▪ Schalungsdurchmesser: | 5 Meter |
| ▪ Etappenlänge: | 9 Meter |
| ▪ Schreitwerklänge: | 18 Meter |
| ▪ Schreitvorgang: | Gripperfunktion |
| ▪ Verfahrmechanismus: | elektrisch über Kettentrieb |
| ▪ Verspreizung innerhalb Stollen: | manuell über Spreizspindeln |
| ▪ Beton / Etappe: | ca. 55 m ³ |
| ▪ Max. Steigung im Stollen: | 21° |
| ▪ Betonierstrecke: | ca. 400 m |
| ▪ Planmäßige Betonagezeit: | Jänner 2014 – Frühjahr 2015 |

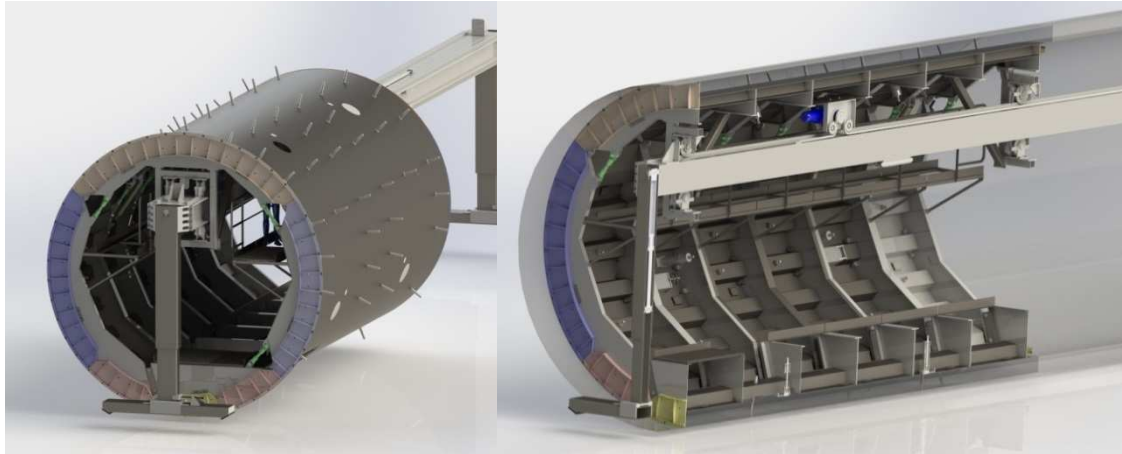


Tabelle: gesamte Fullround-Schalung WKW „Kaunertal“ mit Transportbalken

Die Aufgabe des Fallbeispiels untersucht ein Teilsystem der bereits ausgelieferten Fullround-Schalung auf Basis der Ausführungsvariante. Die Prüfung soll klären, ob die Unternehmens- und Prozessaktivitäten erfolgreich umgesetzt wurden oder ob alternative Konstruktionsvarianten bzw. Fertigungsentscheidungen zu einem besseren Ergebnis geführt hätten. Die Datenerhebung ist auf ein ausreichendes Maß reduziert worden, damit nur ein gewisser Anteil relevanter Informationen zugänglich ist. Außerdem wird nur eine Unterbaugruppe (Seitenschalung links: Zeichnungsnummer 0394_13_20_01-03) der Schalung in der Ausarbeitungskonstruktion angeführt, damit die Seitenanzahlen nicht den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die restlichen Baugruppen werden auf gleiche Weise gemessen.

Die Schalung beschreibt eine kreisförmige Gestalt, sodass die Baugruppen annähernd prozentuell auf die Kreisfläche aufgeteilt werden können. Das bedeutet:

Anzahl	Zeichnungsnummer / Bezeichnung	Verteilung auf Durchmesser [%]	Herstellkosten gemäß Ist- Kalkulationsmethode
6	0394_13_10_01 / Firstschalung	30,5 % / 1.296 kg	31.104,00 EUR
6	0394_13_20_01 / Seitenschalung links	22,2 % / 980 kg	23.520,00 EUR
6	0394_13_30_01 / Bodenschalung	16,7 % / 806 kg	19.344,00 EUR
6	0394_13_40_01 / Seitenschalung rechts	30,5 % / 1.291 kg	30.984,00 EUR
24	GESAMTVERTEILUNG % / GESAMTGEWICHT	100 % / 26.238 kg (Gewicht ohne Schweißnahtmasse)	104.952,00 EUR

Tabelle: Baugruppenübersicht der Schalungs-Außenhaut

Die Herstellkosten errechnen sich aus der Summe von Rohgewicht multipliziert mit dem Faktor für Schweißkonstruktionen mittleren Komplexitätsgrades (2,50 EUR) und dem Rohgewicht multipliziert mit einem Aufschlagsfaktor für Dreh- und Frästeile (1,50 EUR). Dieser Rechenvorgang entspricht annähernd dem gegenwärtigen Kalkulationsvorgang für die direkten Herstellkosten und liefert gleichzeitig die Angaben für die Ziel- und Teilzielkosten. Die prognostizierten Herstellkosten entsprechen im vorliegenden Fall den Standardkosten und werden durch das Hinzufügen der Verwaltungsgemeinkosten und einem leistungsgerechten Gewinnaufschlags der Zielvorgabe gegenübergestellt. Dem interdisziplinären Team obliegt es nun, diese Standardkosten auf die einzelnen Baugruppen abzuspalten und der Kostenvorgabe des Kunden gegenüber zu stellen. Bei Ergebnisabweichungen werden ohnehin Optimierungsentscheidungen erforderlich und durch einen Korrekturfaktor behoben. Dieser Korrekturfaktor bildet nun die Basis für etwaige Zielwertbestimmungen einzelner Kosten-sparten. In der nachstehenden Tabelle wird der erläuterte Sachverhalt für den Leser verständlich dargestellt.

Gewinnabsichten	Kostenvorgabe Kunde	Standardkosten / Herstellkosten	Zielwert	Zielkosten / Teilzielkosten
15,00%	124.630,50	104.952,00	5,8%	98.810,59
Baugruppe 10: Firstschalung:				
Material		8.398,08	7%	7.810,21
Zukauf		4.992,85	7%	4.643,35
Bearbeitung		10.856,07	5%	10.313,27
Rüsten		6.242,00	5%	5.929,90
Montage / Schweißen		615,00	5%	584,25
Summe der Standard / Teilzielkosten		31.104,00		29.280,98
Baugruppe 20: Seitenschalung links				
Material		6.350,40	7%	5.905,87
Zukauf		3.634,14	7%	3.379,75
Bearbeitung		8.628,46	5%	8.197,04
Rüsten		4.420,00	5%	4.199,00
Montage / Schweißen		487,00	5%	462,65
Summe der Standard / Teilzielkosten		23.520,00		22.144,31
Baugruppe 30: Bodenschalung				
Material		5.222,88	7%	4.857,28
Zukauf		2.733,79	7%	2.542,42
Bearbeitung		7.260,00	5%	6.897,00
Rüsten		3.728,33	5%	3.541,91
Montage / Schweißen		399,00	5%	379,05
Summe der Standard / Teilzielkosten		19.344,00		18.217,67
Baugruppe 30: Seitenschalung rechts				
Material		8.365,68	7%	7.780,08
Zukauf		4.992,85	7%	4.643,35
Bearbeitung		10.827,47	5%	10.286,10
Rüsten		6.189,00	5%	5.879,55
Montage / Schweißen		609,00	5%	578,55
Summe der Standard / Teilzielkosten		30.984,00		29.167,63
Kostenvorgabe Kunde	124.630,50	Herstellkosten	104.952,00	
abzüglich Skonto 0%	0,00	zzgl. 10% Gemeinkosten	10.495,20	
		zzgl. 14,55 % Gewinn	15.270,52	
		abzüglich 5,8 % Zielwertvorgabe	6.087,22	
Vorgabe Zielpreis	124.630,50	Zielpreis	124.630,50	

Tabelle: Zielkostenplanung – ARGE Kaunertal – Teilbereich Schalungs-Außenhaut

Das Ergebnis der Zielkostenplanung liefert die Forderungen an Kosteneinsparungen von mindestens über 6087,22 Euro bzw. 5,8 Prozentpunkte, die durch Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Veränderungsmaßnahmen der Ablaufplanung oder durch die Variantenänderung erzielt werden können bzw. müssen. Der Einkauf hat dafür Sorge zu tragen, dass die Materialkosten durch Rabattierung gesenkt werden, da hier das größte Einsparungspotential gegeben ist.

A-2 Konstruktionsphase

A-2.1 Konzeptphase

Im Zuge der Konzeptvariante erstellt der Ziviltechniker das statische Profil der Konstruktion. Mögliche Gestaltungsvarianten werden auf Basis des Soll-Konzepts durch FEM-Analysen innerhalb der CAD-Schnittstelle überprüft. Dabei werden sämtliche materialspezifischen Eigenschaften und Detailausführungen der Bauteil- und Baugruppenpositionen bestimmt und gemäß den technischen Vorgaben umgesetzt.

<u>Vorbau Schalung Kauner</u> <u>9.7.2013</u>	Trapezträger+Schalungshaut:Werkstoff:S235 $\beta_{S235} := 23500 \quad \text{N/cm}^2$
<u>Schalungsberechnung:</u>	Sicherheit:
U Profil Schalungsring	$S := 1.5$
$J_{\text{Schr}} := 5246 \quad \text{cm}^4$	$\sigma_{\text{zulS235}} := \frac{\beta_{S235}}{S}$
$E := 2.1 \cdot 10^7 \quad \text{N/cm}^2$	$\sigma_{\text{zulS235}} = 15667 \quad \text{N/cm}^2$
Ringradius	Alle anderen Werkstoffe außer Bolzen und Schrauben:
$a := 250 \quad \text{cm}$	$\beta_{S355} := 35500 \quad \text{N/cm}^2$
Ringbreite:	$\sigma_{\text{zulS355}} := \frac{\beta_{S355}}{S}$
$b_R := 18 \quad \text{cm}$	$\sigma_{\text{zulS355}} = 23667 \quad \text{N/cm}^2$
$q_{kr} := \frac{3 \cdot E \cdot J_{\text{Schr}}}{a^3}$	$L_{Tr} := 150 \quad \text{cm}$
$q_{kr} = 21152 \quad \text{N/cm}$	$W_{Tr} := 412 \quad \text{cm}^3$
<u>Nebenrechnung:</u>	<u>Streckenlast:</u>
$p_{kr} := \frac{q_{kr}}{18}$	<u>Betondruck:</u>
$p_{kr} = 1175 \quad \text{N/cm}^2$	$p := 2.5 \quad \text{bar}$
Gesamtkraft radial:	Lastfeldbreite:
$F_{\text{ges}} := \pi \cdot 2 \cdot a \cdot q_{kr}$	$b_L := 68 \quad \text{cm}$
$F_{\text{ges}} = 33225283 \quad \text{N}$	$q := p \cdot 10 \cdot b_L$
	$q = 1700 \quad \text{N/cm}$

1/10	2/10
<p>Biegemoment:</p> $M_b := \frac{q \cdot L_{Tr}^2}{8}$ <p>$M_b = 4781250 \quad \text{Ncm}$</p> $\sigma_{Tr} := \frac{M_b}{W_{Tr}}$ <p>$\sigma_{Tr} = 11605 \quad \text{N/cm}^2$</p> <p>$\sigma_{zulS235} = 15667 \quad \text{N/cm}^2$</p> <p>Träger durchtrennt für Betonierdeckel:</p> <p>Kragarmlänge:</p> $L_{Kr} := 75 \quad \text{cm}$ $M_{Kr} := \frac{q \cdot L_{Kr}^2}{2}$ <p>$M_{Kr} = 4781250 \quad \text{Ncm}$</p> $\sigma_{Kr} := \frac{M_{Kr}}{W_{Tr}}$ <p>$\sigma_{Kr} = 11605 \quad \text{N/cm}^2$</p> <p>Schraubverbindung Kragarmflansch M 27 1:</p> $F_{Sch} := \frac{M_{Kr}}{18 \cdot 2}$ <p>$F_{Sch} = 132813 \quad \text{N}$</p> <p>$F_{M27zul} := 165200 \quad \text{N}$</p>	<p>Verstärkung: links und rechts des Trapezes Quadrateisen 60 x 60 2 Kehlnähte a min 6 mm.</p> <p>Spannung in Schweißnaht:</p> <p>$a_{Schw} := 0.6 \quad \text{cm}$</p> $\tau_{Schwzul} := \frac{\sigma_{zulS235}}{\sqrt{3}} \quad \tau_{Schwzul} = 9045 \quad \text{N/cm}^2$ $\tau_{Sch} = \frac{F_{Sch}}{2 \cdot a_{Schw} \cdot l_{Schw}}$ $l_{Schw} := \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{Sch}}{(\tau_{Schwzul} \cdot a_{Schw})}$ <p>Erforderliche Schweißnahtlänge:</p> <p>$l_{Schw} = 12.24 \quad \text{cm}$</p> <p>Kritische Radialkraft Ringhälfte pro Lastfeld:</p> $F_{Rimax} := p_{kr} \cdot b \cdot L_{Tr}$ <p>$F_{Rimax} = 11986061 \quad \text{N}$</p> <p>Tatsächliche Radialkraft Ringhälfte pro Lastfeld:</p> $F_{Ri} := p \cdot 10 \cdot b \cdot L_{Tr}$ <p>$F_{Ri} = 255000 \quad \text{N}$</p> <p><u>kritische Druckspannung im Ring:</u></p> <p>Querschnittsfläche Ringhälfte:</p> <p>$A_R := 42 \quad \text{cm}^2$</p> $\sigma_{Dkr} := \frac{q_{kr} \cdot 2 \cdot a}{2 \cdot A_R}$ <p>$\sigma_{Dkr} = 125904 \quad \text{N/cm}^2$</p>
3/10	4/10

<p><u>Ringkraft an Stoßstelle:</u></p> $F_{RSt} := \frac{2250 \cdot 10 \cdot L_{Tr} \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot \frac{(a \cdot 10^{-2})^2}{2} + (a \cdot 10^{-2} + 25 \cdot 10^{-2}) \cdot L_{Tr} \cdot 10^{-2}}{2}$ <p>$F_{RSt} = 165672 \quad N$</p> <p><u>tatsächliche Druckspannung im Ring:</u></p> $\sigma := \frac{F_{RSt}}{2 \cdot A_R}$ <p>$\sigma = 1972 \quad N/cm^2$</p> <p>$\sigma_{zulS355} = 23667 \quad N/cm^2$</p> <p>Stoßspannung in der Schalhaut zwischen den Segmenten :</p> <p>$s_{Bl} := 0.8 \quad cm$</p> $\sigma := \frac{F_{RSt}}{150 \cdot s_{Bl}}$ <p>$\sigma = 1381 \quad N/cm^2$</p>	<p><u>Gelenke der Schalungssegmente:</u></p> <p>Druck im Flächenschwerpunkt:</p> <p>$p_{Fl} := 0.39 \quad bar$</p> <p>Projektionsfläche:</p> <p>$A_{Proj} := 350 \cdot 150$</p> <p>$A_{Proj} = 52500 \quad cm^2$</p> <p>$F_{Segm} := p_{Fl} \cdot 10 \cdot A_{Proj}$</p> <p>$F_{Segm} = 204750 \quad N$</p> <p>Gelenkkraft:(ein Gelenk)</p> $F_{Gel} := F_{Segm} \cdot \frac{233}{350} \cdot \frac{1}{2}$ <p>$F_{Gel} = 68153 \quad N$</p> <p>Bolzendurchmesser: Teil Nr.: 13.017.10.020</p> <p>$d_{Bo} := 5 \quad cm$</p> $\sigma_{Bo} := \frac{\frac{F_{Gel}}{2} \cdot 3}{\left(\frac{\pi \cdot d_{Bo}^3}{32} \right)}$ <p>$\sigma_{Bo} = 8330 \quad N/cm^2$</p> <p>Spannschloß:</p> <p>$F_{Sp} := F_{Gel}$</p> <p>$F_{Sp} = 68153 \quad N$</p> <p>Verhältnisse entsprechen jenen im Gelenk.</p>
5/10	6/10

Berechnung der Konusspindeln: Teil Nr.: 13.017-10-008

Spindelgewinde RD60x6

Annahme: Kraft pro Konusspindel

$F_{Ha} := 115000 \quad N$

Trapezträger:

$L_{Tr} := 150 \quad cm$

$W_{Tr} = 412 \quad cm^3$

Punktlast: (durch Abstandshalter)

Biegemoment:

$$M_b := \frac{F_{Ha} \cdot L_{Tr}}{4}$$

$M_b = 4312500 \quad Nm$

$$\sigma_{Tr} := \frac{M_b}{W_{Tr}}$$

$\sigma_{Tr} = 10467 \quad N/cm^2$

Segmentfläche:

$$A_{Seg} := 61200 \quad cm^2$$

Druck in Abhängigkeit von der Höhe, bezogen auf die Mitte der Trapezbleche.

1.15
1.1
0.95
0.86
0.78
0.55
0.48
0.32
0.17
0.1
0.05
0

bar

$K := \frac{A_{Seg} \cdot 10^{-6}}{F_{Ha}}$

Theoretische Anzahl der Abstandshalter pro Schalungshälfte.

pro Trapezblech (auf 9 m) Gewählt: 11 Positionen:

0	6
1	6
2	5
3	5
4	4
5	3
6	3
7	2
8	1
9	1
10	0
11	0

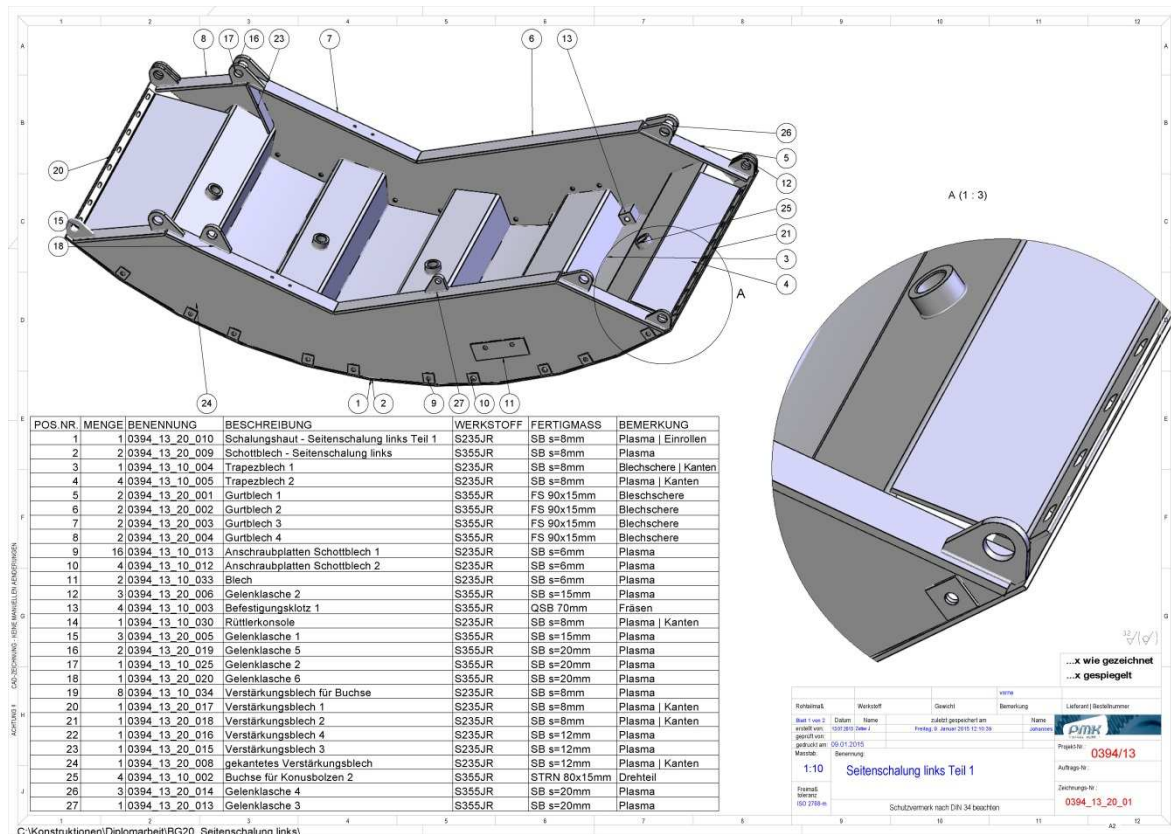
$K =$

<p><u>Stützbleche Rundgewindemutter für Konusspindel</u></p> <p>Bolzenkraft:</p> $F_{Bo} := 115000 \quad \text{N}$ <p>Blechstärken:</p> $s := 0.8 \quad \text{cm}$ <p>Länge Schweißnaht:</p> $l_{Schw} := 17 \quad \text{cm}$ <p>Schweißnahtstärke</p> $a := 0.5 \quad \text{cm}$ $\tau := \frac{F_{Bo}}{2 \cdot l_{Schw} \cdot a}$ $\tau = 6765 \quad \text{N/cm}^2$ <p><u>Hydraulikzylinderantenkung für Schalungssegmente:</u></p> $F_{Hy} := 86730 \quad \text{N}$ <p>Bolzen:</p> $d_B := 3 \quad \text{cm}$	<p>Spannung im Kraftleitblech:</p> $\sigma := \frac{F_{Hy} \cdot 1}{\cos(19 \cdot \text{Grad}) \cdot 2 \cdot 8 \cdot 1.2}$ $\sigma = 4777 \quad \text{N/cm}^2$ <p>Schweißnaht:</p> $\sigma_S := \frac{F_{Hy}}{2 \cdot 8 \cdot 0.5 \cdot 2}$ $\sigma_S = 5421 \quad \text{N/cm}^2$ <p>Hydraulikzylinder Seitensegment rechts:</p> $7910 \cdot 3 \cdot 208 + 9480 \cdot 3 \cdot 25 = F_{Hy} \cdot 54$ $F_{Hy\text{erf}} := \frac{941140}{9}$ $F_{Hy\text{erf}} = 104571 \quad \text{N}$ <p>vorhandene Hydraulikkraft:</p> $F_{Hy\text{vorh}} := 1.5 \cdot F_{Hy}$ $F_{Hy\text{vorh}} = 130095 \quad \text{N}$
9/10	10/10

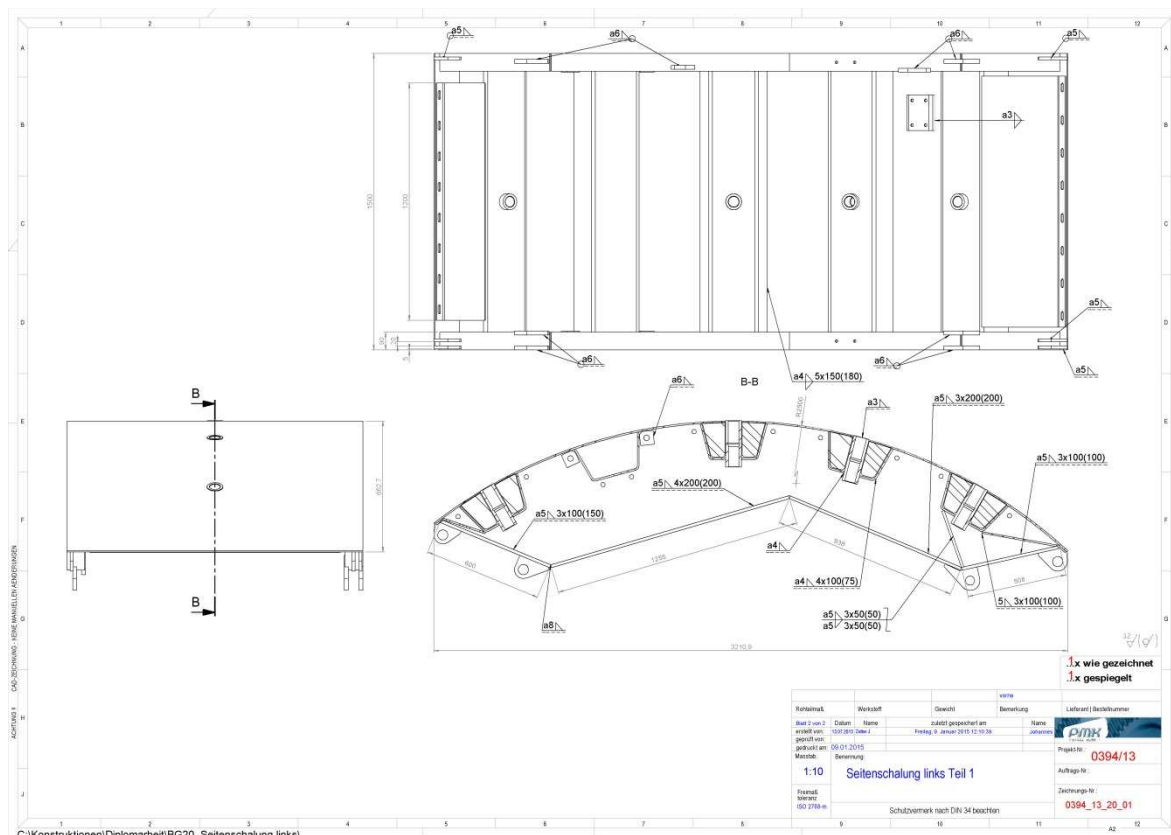
Die Bauteilgestaltung muss jederzeit den statischen Anforderungen entsprechen und unterliegt darüber hinaus dem Risiko, überdimensioniert ausgelegt worden zu sein.

A-2.2 Ausarbeitungsphase

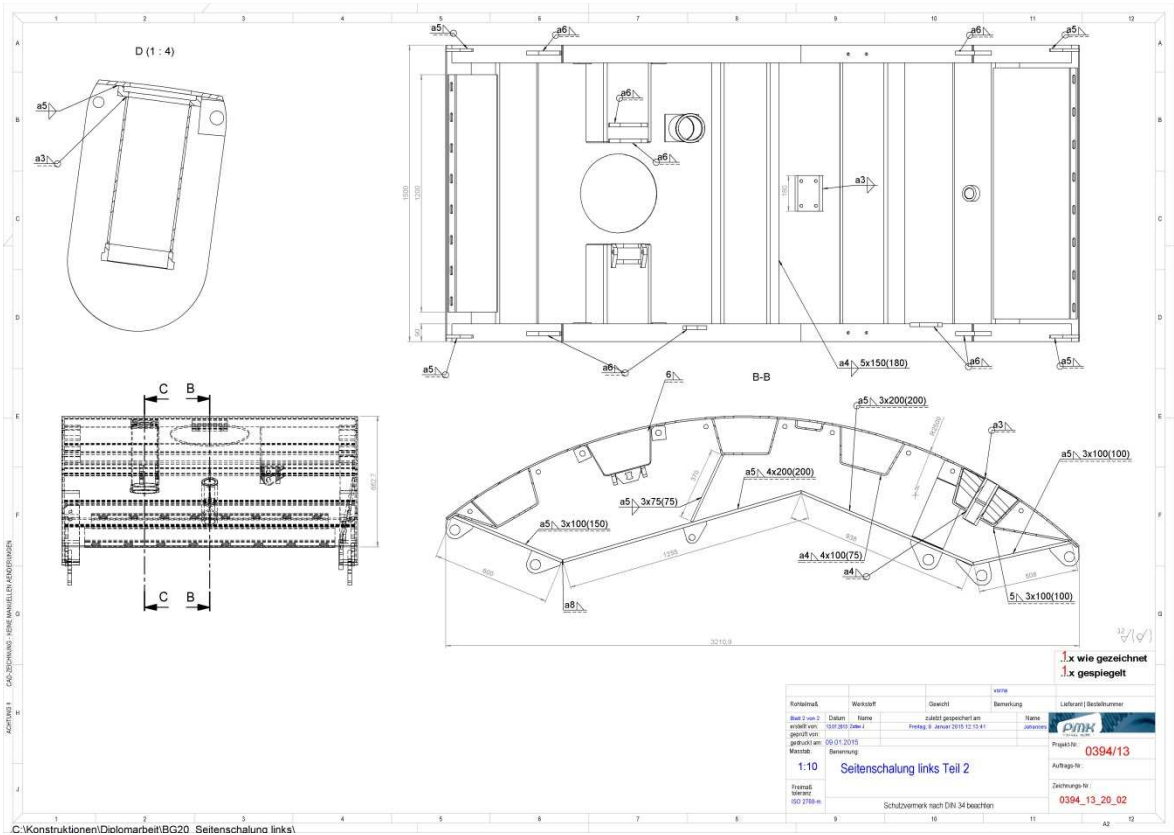
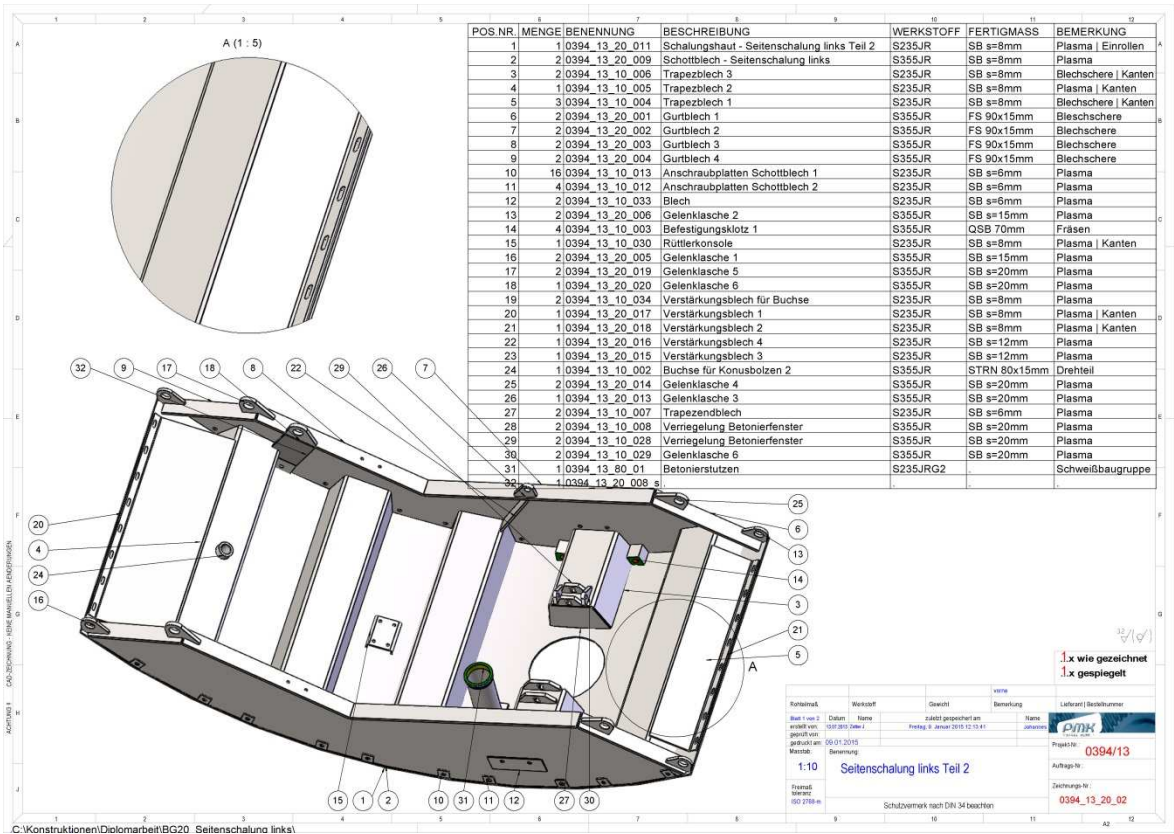
In den kommenden Seiten werden nur die Montagezeichnungen einer Baugruppe dokumentiert. Die Darstellung ist entsprechend des Umfangs auf ein Minimum reduziert worden.

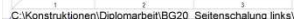
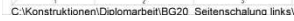


C:\Konstruktionen\Diolomarbeit\BG20 Seitenschalung links\



C:\Konstruktionen\Diolomarbeit\BG20 Seitenschalung links\





A-2.3 Arbeitsplan Plasmabrennschnitt

Die Prozessanalyse leitet, auf Basis der Ist-Daten aus den Arbeitsplänen „Plasmabrennschnitt“, Mittelwerte für die Leistungsdatenerhebung ab. Exemplarisch wird der Brennschnittplan für die Brennschnittteile aus Stahlblech 6 mm dargestellt. Darüber hinaus wurden die fremdbezogenen Blechteile (24 Stück eingerollte Bleche aus 8 mm Stahlblech → insgesamt 12 gleiche Paare) einer interne Machbarkeitsanalyse unterzogen und als Alternativvariante vorgeschlagen. Wegen des Umfangs der Seitenzahlen beschränkt sich auch hier der Autor auf die Illustration eines Arbeitsplans.

MESSER
Cutting Systems

SB 6mm

12.12.2014 07:43:50

Planinformationen	
Aufgabenbezeichnung:	
Programmierer:	
Kunde:	
Maschine:	HPR260XD Neu
Prozess:	HPRXD_FF_MS_80
Prozessmaterial:	S235JR

1 : 19.85

Platteninformationen		Fertigungsstatistik			
Plattenmaterial:	S235JR	Fertigungszeit:	01:23:08		
Dicke:	6 mm	Schneidlänge:	168.849 m		
Plattenmaße:	3000x1500 mm	Markierlänge:	0.000 m		
Min. benötigte Plattenmaße:	2990x1490 mm	Eilgangslänge:	187.773 m		
Genutztes Plattenrechteck:	4.454 m²	Anzahl der Anschnitte:	758		
ID	Bauteilname	Anzahl	Bauteilgröße	Bauteilgewicht	Schneidzeit
1	0394_13_10_007	20	332x183 mm	2.374 kg	00:00:24
2	0394_13_10_012	120	60x60 mm	0.141 kg	00:00:10
3	0394_13_10_013	165	60x60 mm	0.152 kg	00:00:09
4	0394_13_10_033	56	300x100 mm	1.377 kg	00:00:27

MESSER
Cutting Systems

SB 6mm_1

12.12.2014 07:42:03

Planinformationen	
Aufgabenbezeichnung:	
Programmierer:	
Kunde:	
Maschine:	HPR260XD Neu
Prozess:	HPRXD_FF_MS_80
Prozessmaterial:	S235JR

1 : 19.85

Platteninformationen		Fertigungsstatistik			
Plattenmaterial:	S235JR	Fertigungszeit:	00:43:13		
Dicke:	6 mm	Schneidlänge:	83.733 m		
Plattenmaße:	3000x1500 mm	Markierlänge:	0.000 m		
Min. benötigte Plattenmaße:	856x1490 mm	Eilgangslänge:	67.825 m		
Genutztes Plattenrechteck:	1.275 m²	Anzahl der Anschnitte:	510		
ID	Bauteilname	Anzahl	Bauteilgröße	Bauteilgewicht	Schneidzeit
1	0394_13_10_013	255	60x60 mm	0.152 kg	00:00:09

Tabelle: Arbeitsplan für CNC-Trennschnitt am Beispiel des 6mm Stahlblechs

A-3 Messen und Bewerten von projektbezogenen Bauteilen und Baugruppen mittels kennzahlengesteuerten, CAD-integrierten Messwerkzeuges

In diesem Teil des Anhangs werden ein Teil der kritischen Bauteile bzw. die Einflussbereiche dieser auf beschlossene Entscheidungen gemessen und entsprechend der Umsetzung beurteilt.

A-3.1 Messen von projektbezogenen Bauteilen und Baugruppen unter Berücksichtigung der allgemeinen und fertigungsspezifischen Einflussgrößen

(1) Bauteil Flachstahl 90 x 15mm (202 Stück in 17 verschiedenen Zuschnittlängen): Einflussfaktor Fertigungsverfahren

Die Ist-Variante definiert 202 Stück Flacheisen mit 90 x 15 mm als Rohmaterial. Der Zuschnitt kann entweder durch die mechanische Sägeanlage oder durch das CNC-gesteuerte Plasmaschneidverfahren erreicht werden. Durch die Messmethode soll geprüft werden, ob das durchgeführte Verfahren (Sägen) den operativen Zielen entspricht oder ob eine Veränderung für angemessen erscheint.

Zeichnungsnr.	Anzahl [Stk.]	BA.-Verf. [kg/Teil]	Teilgewicht [kg/Teil]	Schnittlänge [mm]	Einstiche [Stk.]	Fertigungszeit		Material- kosten [EUR]	Rüsten Schnitt [EUR]	Bearbeitung Schnitt [EUR]	Herstellkosten [EUR]
						Rüsten [min]	Bearbeitung [min]				
0394_13_10_001	6	Plasma Sägen	16,27	3.270 90	1	3,0 2,5	12,3 9,0	102,01 66,58	2,7 6,0	9,81 4,50	114,49 77,08
0394_13_10_016	2	Plasma Sägen/Bo	16,27	3.509 90	5	1,0 0,8	4,4 3,0	34,00 22,19	0,9 2,0	4,51 1,50	39,40 25,69
0394_13_10_017	2	Plasma Sägen/Bo	16,27	3.509 90	5	1,0 1,0	4,4 3,0	34,00 22,19	0,9 2,0	4,51 1,50	39,40 25,69
0394_13_10_031	24	Plasma Sägen	5,22	1.170 90	1	12,0 12,0	17,6 36,0	130,92 85,44	10,7 10,8	14,04 18,00	155,64 114,24
0394_13_10_032	24	Plasma Sägen	10,06	2.090 90	1	12,0 12,0	31,4 36,0	252,30 164,66	10,7 18,0	25,08 18,00	288,06 200,66
0394_13_20_001	12	Plasma Sägen	6,32	1.380 90	1	6,0 6,0	10,4 18,0	79,25 51,72	5,3 5,4	8,28 9,00	92,87 66,12
0394_13_20_002	12	Plasma Sägen	13,22	2.690 90	1	6,0 6,0	20,2 18,0	165,78 108,19	5,3 12,0	16,14 9,00	187,26 129,19
0394_13_20_003	12	Plasma Sägen	9,84	2.144 90	3	6,0 6,0	16,1 18,0	123,39 80,53	5,3 9,0	16,46 9,00	145,20 98,53
0394_13_20_004	12	Plasma Sägen	5,35	1.196 90	1	6,0 6,0	9,0 18,0	67,09 43,78	5,3 5,4	7,18 9,00	79,61 58,18
0394_13_30_001	12	Plasma Sägen	23,17	4.580 90	1	6,0 6,0	34,4 18,0	290,55 189,62	5,3 18,0	27,48 9,00	323,37 216,62
0394_13_30_002	12	Plasma Sägen	2,33	622 90	1	6,0 6,0	4,7 18,0	29,22 19,07	5,3 2,4	3,73 9,00	38,29 30,47
0394_13_30_003	12	Plasma Sägen	7,40	1.586 90	1	6,0 6,0	11,9 18,0	92,80 60,56	5,3 5,4	9,52 9,00	107,65 74,96
0394_13_40_001	12	Plasma Sägen	5,32	1.190 90	1	6,0 6,0	8,9 18,0	66,71 43,54	5,3 5,4	7,14 9,00	79,19 57,94
0394_13_40_002	12	Plasma Sägen	9,88	2.056 90	1	6,0 6,0	15,4 18,0	123,90 80,86	5,3 9,0	12,34 9,00	141,57 98,86
0394_13_40_003	12	Plasma Sägen	13,17	2.680 90	1	6,0 6,0	20,1 18,0	165,15 107,78	5,3 12,0	16,08 9,00	186,57 128,78
0394_13_40_004	12	Plasma Sägen	10,46	2.166 90	1	6,0 6,0	16,2 18,0	131,17 85,60	5,3 9,0	13,00 9,00	149,50 103,60
0394_13_40_005	12	Plasma Sägen	6,85	1.480 90	1	6,0 6,0	11,1 18,0	85,90 56,06	5,3 5,4	8,88 9,00	100,12 70,46
Plasma						101,0	248,2	1.974,15	89,9	204,2	2268,21
Sägen						100,3	303,0	1.288,39	137,2	151,5	1577,09

Tabelle: Aufschlüsselung der Leistungsstruktur am Beispiel der CNC-Trennschnittmethode und dem Sägen

Aus der Datenauflistung ist zu erkennen, dass sich die Schnittlänge des Sägens zwar deutlich unterhalb des Wertes von der Plasmastrahlmethode befindet, jedoch die niedrige Schnittgeschwindigkeit des mechanischen Verfahrens in Kauf genommen werden sollte. Hinsichtlich der zeitlichen Komponente fällt die Zuwendung zu Gunsten des Plasmastrahlverfahrens aus.

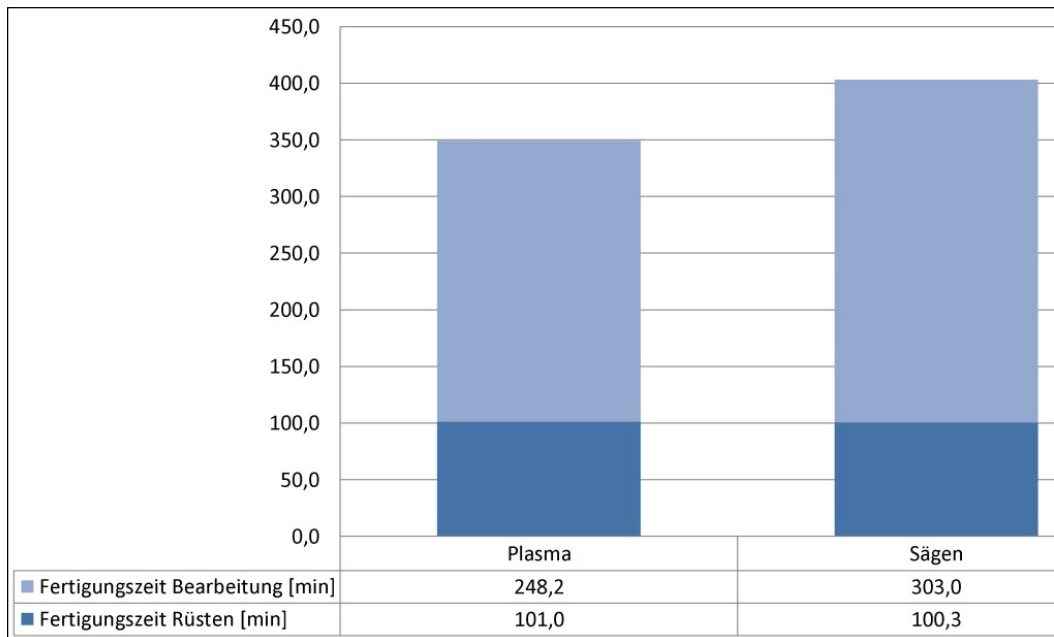


Abbildung: Vergleich der Rüst- und Bearbeitungszeiten am Beispiel der CNC-Trennschnittmethode und dem Sägen

Durch Konkretisierung auf Kostenbasis erkennt man hingegen, dass die Maschinenkosten beim Plasmastrahlverfahren Überhand nehmen und untergraben den zeitlichen Vorteil zu Gunsten des Sägeverfahrens.

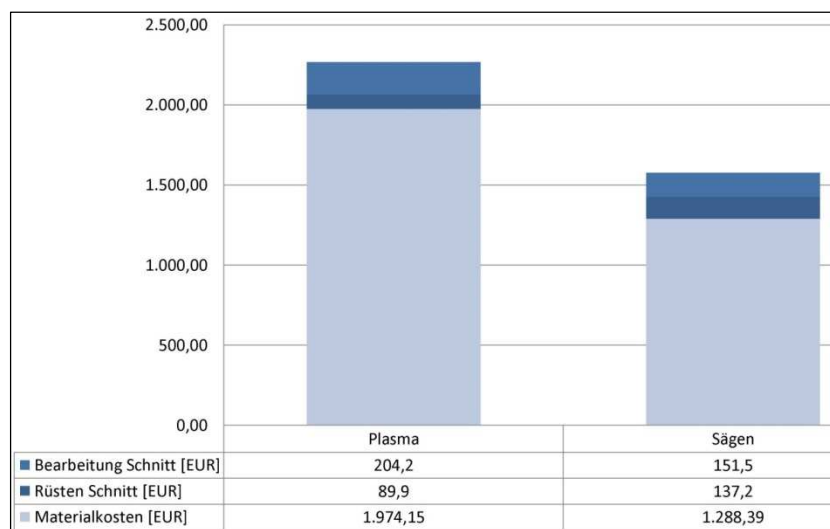
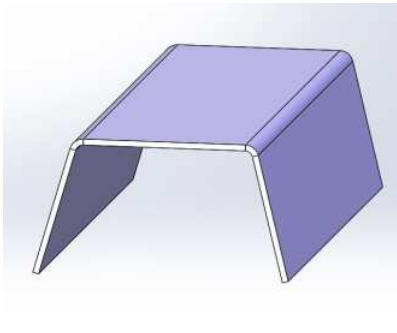
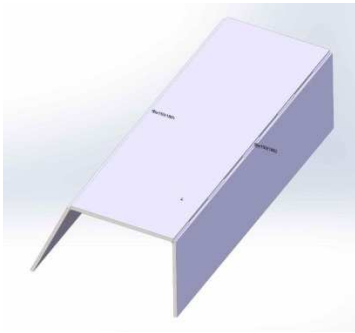


Abbildung: Vergleich der Herstellkosten am Beispiel der CNC-Trennschnittmethode und dem Sägen

Alles in allem kann dem Sägen der Vorrang als die wirtschaftlichere Fertigungsmethode zugesprochen werden.

**(2) Bauteil 0394_13_10_005 „Trapezblech 2“(128 Stück): Einflussfaktor
Fertigungsmethode**

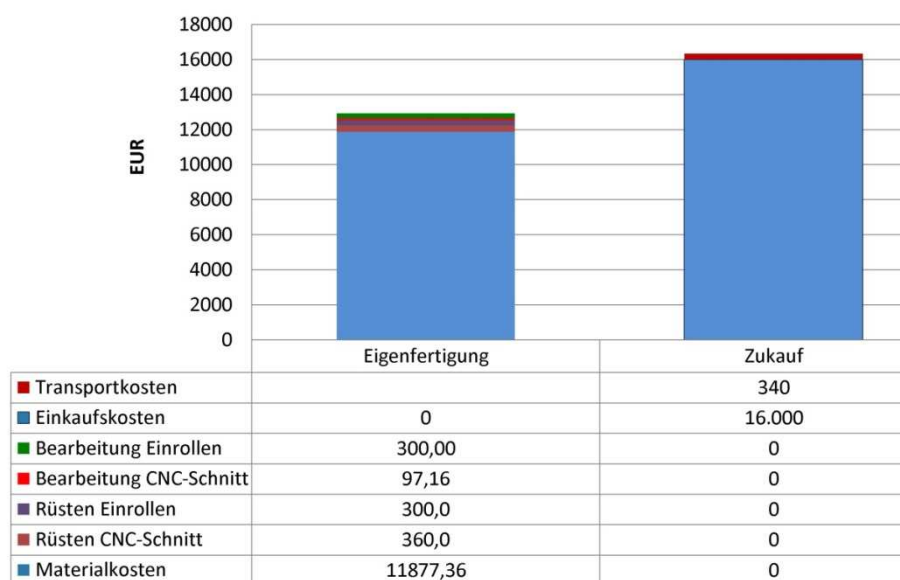
Das Ergebnis dieses Vergleiches kann aufgrund der logischen Konsequenzen auch subjektiv erklärt werden. Nichts desto trotz ist es doch sehr interessant, inwieweit die Leistungslücke voneinander abweicht.

																									
1. Blechformat wird mittels hydraulischer Tafelschere (einfache Konturen) zugeschnitten und zweimal gekantet. (128 Stück)	2. Drei einzelne Bleche mittels hydraulischer Tafelschere zugeschnitten, Bleche Richten, Zusammenbau der Schweißbaugruppe und Heften, Schweißen und Putzen der Schweißnaht, Ausrichten, Beschleifen. (128 Stück)																								
<table><tr><td></td><td>1.)</td><td>2.)</td></tr><tr><td>Rohmaterial</td><td>5.184,00</td><td>5.184,00</td></tr><tr><td>Bearbeitungsprozess Zuschneiden</td><td>320,00</td><td>640,00</td></tr><tr><td>Bearbeitungsprozess Kanten</td><td>320,00</td><td>0,00</td></tr><tr><td>Bearbeitungsprozess Heften</td><td>0,00</td><td>1000,50</td></tr><tr><td>Bearbeitungsprozess Schweißen</td><td>0,00</td><td>1.334,40</td></tr><tr><td>Richten und Beschleifen</td><td>0,00</td><td>257,10</td></tr><tr><td></td><td>5.824,00 EUR</td><td>8.416,00 EUR</td></tr></table>		1.)	2.)	Rohmaterial	5.184,00	5.184,00	Bearbeitungsprozess Zuschneiden	320,00	640,00	Bearbeitungsprozess Kanten	320,00	0,00	Bearbeitungsprozess Heften	0,00	1000,50	Bearbeitungsprozess Schweißen	0,00	1.334,40	Richten und Beschleifen	0,00	257,10		5.824,00 EUR	8.416,00 EUR	
	1.)	2.)																							
Rohmaterial	5.184,00	5.184,00																							
Bearbeitungsprozess Zuschneiden	320,00	640,00																							
Bearbeitungsprozess Kanten	320,00	0,00																							
Bearbeitungsprozess Heften	0,00	1000,50																							
Bearbeitungsprozess Schweißen	0,00	1.334,40																							
Richten und Beschleifen	0,00	257,10																							
	5.824,00 EUR	8.416,00 EUR																							

Aus kostenrechnerischer Sicht bestätigt der Kantprozess seine wesentlichen Vorzüge als wirtschaftliches Fertigungsverfahren gegenüber den alternativen Methoden.

(3) Bauteil 0394_13_20_010 „Schalungshaut“: Eigen- oder Fremdfertigung

Dieser Vergleich soll abklären, ob die Entscheidung des Fremdbezuges gerechtfertigt werden kann oder die Eigenfertigung ein monetär günstigeres Ergebnis geliefert hätte.



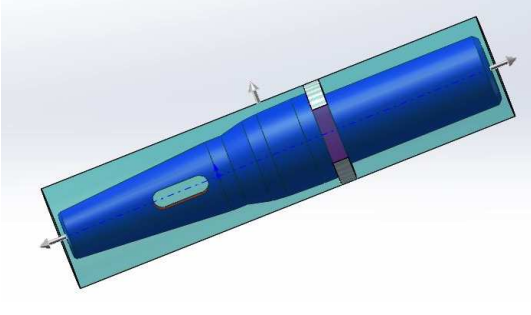
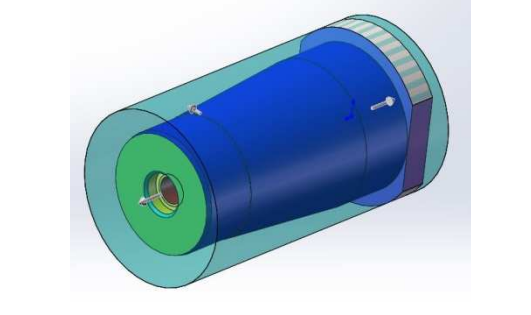
Zeichnungsnr.	Anzahl [Stk.]	BA.-Verf. [kg/Teil]	BEARBEITUNGSZEIT			Materialkosten [EUR]	Rüsten CNC- Schnitt [EUR]	Rüsten Einrollen [EUR]	Bearbeitung CNC-Schnitt [EUR]	Bearbeitung Einrollen [EUR]	Herstellkosten [EUR]
			CNC-Schnitt [min]	Einrollen [min]	GESAMT [min]						
0394_13_10_010	4	Plasma	29	108	137	2375,472	60,0	50,0	18,92	50,00	2.554,39
0394_13_10_011	2	Plasma	17	54	71	1187,736	30,0	25,0	11,41	25,00	1.279,15
0394_13_20_010	2	Plasma	11	54	65	791,824	30,0	25,0	7,30	25,00	879,12
0394_13_20_011	2	Plasma	11	54	65	791,824	30,0	25,0	7,09	25,00	878,91
0394_13_20_012	2	Plasma	11	54	65	791,824	30,0	25,0	7,30	25,00	879,12
0394_13_30_010	2	Plasma	9	54	63	791,824	30,0	25,0	5,53	25,00	877,36
0394_13_30_011	2	Plasma	11	54	65	791,824	30,0	25,0	6,80	25,00	878,62
0394_13_30_012	2	Plasma	9	54	63	791,824	30,0	25,0	5,53	25,00	877,35
0394_13_40_010	2	Plasma	14	54	68	1187,736	30,0	25,0	8,87	25,00	1.276,60
0394_13_40_011	2	Plasma	15	54	69	1187,736	30,0	25,0	9,55	25,00	1.277,29
0394_13_40_012	2	Plasma	14	54	68	1187,736	30,0	25,0	8,87	25,00	1.276,60
			152	648	800	11877,36	360,0	300,0	97,16	300,00	12.934,52

Abbildung: Vergleichsanalyse für die Entscheidungsfindung „Einkauf oder doch Eigenfertigung?“

Aus dem Ergebnis der Leistungsinformation kann rückgeschlossen werden, dass die Eigenfertigung im vorliegenden Fall dem Fremdbezug vorzuziehen gewesen wäre. In den Materialkosten ist der gesamte Materialausschuss miteinbezogen und darüber hinaus sind Materialgemeinkosten mit 10 % der Materialeinzelkosten bereits enthalten. Wie aus der Abbildung ersichtlich kann die Differenz immerhin noch mit über 20 % beziffert werden. So können nicht nur die Fixkosten, sondern auch Gemeinkostenanteile und etwaige Risikofaktoren gedeckt werden.

(4) Bauteil 0394_13_50_005 „Absteckbolzen konisch“: Einflussvariante Gestaltung

Der Absteckbolzen sichert die Boden- mit der Seitenschalung rechts für die Herstellung einer lösbaren formschlüssigen Verbindung der Schalungskomponenten. Diese Verbindung fixiert den kreisrunden Zustand der Schalung.

			
Variante A		Variante B	
Anzahl	CAD-Feature	Prozesskosten	Prozesszeit
1	AD-Auskehlung 1 Tasche durchgehend (rot)	1,21	00:01:43
1	AD-Drehen 1 zu Konus verlaufende Fläche	5,79	00:09:11
1	AD-Drehen 2 zylindrische Fläche (blau)	3,97	00:06:36
1	Flächendrehung rechte Fläche (grün)	0,62	00:00:52
1	Flächendrehung linke Fläche (grün)	0,62	00:00:52
1	Flächenfräsung Schlüsselweite 48 (violett)	1,74	00:02:27
	Bearbeitung EINZEL	13,95	00:21:51
	Rüsten EINZEL	5,31	00:07:30
	Material EINZEL	35,56	XXX
	Herstellung EINZEL	54,82	00:29:21
14	Bearbeitung GESAMT	195,3	05:06:00
14	Rüsten GESAMT	74,34	01:45:00
14	Material GESAMT	497,84	XXX
14	Herstellung GESAMT	767,48	06:51:00

Anzahl	CAD-Feature	Prozesskosten	Prozesszeit
1	Gewinde Schneiden Innengewinde (rot)	0,57	00:00:48
1	AD-Drehen 1 zu Konus verlaufende Fläche	5,39	00:07:36
1	Flächendrehung rechte Fläche (grün)	0,62	00:00:52
1	Flächendrehung linke Fläche (grün)	0,62	00:00:52
1	Flächenfräsung Schlüsselweite 48 (violett)	1,74	00:02:27
	Bearbeitung EINZEL	8,94	00:12:35
	Rüsten EINZEL	3,19	00:04:30
	Material EINZEL	14,35	XXX
	Herstellung EINZEL	26,48	00:17:05
14	Bearbeitung GESAMT	125,16	02:56:00
14	Rüsten GESAMT	44,63	00:57:05
14	Material GESAMT	200,90	XXX
14	Herstellung GESAMT	370,69	03:53:05

Abbildung: Konstruktionsvarianten für unterschiedliche Montagemöglichkeiten

Auf den ersten Blick ist Variante B aus kosten- wie auch zeitrechnerischer Sicht der Variante A vorzuziehen. Variante B entspricht auch der Ist-Ausführung, jedoch wirkt sich die eingeschränkte Montagefähigkeit über Schraubsicherungen (Gewinde) auf die gesamte Produktlebensphase äußerst negativ aus. Aus den augenscheinlichen Einsparungen von ca. 397,00 Euro traten zusätzliche Kosten in Höhe von 768,00 Euro für die Variantenänderung auf,

ohne die Konstruktionsänderungen sowie andere Umwelteinwirkungen mit einzubeziehen. Diese defizitäre Situation kann auf die fehlenden Analyse- und Bewertungsinitiativen zurückgeführt werden. Die Schlussfolgerung für dieses Beispiel ist klar. Nicht immer ist eine kostengünstige Lösung die sinnvollste, solange sie nicht durch ihre Funktionsfähigkeit während der Produktlebensphasen bestätigt wurde.

(5) Bauteil 0394_13_50_009 „Spreizspindel“: Einflussfaktor Material Stückzahl und statisches Profil

Ein äußerst aussagekräftiges Resümee kann bei der Spreizspindel konstituiert werden. Hier erzeugten die umgesetzte Auslegungen, Eigenschaftsbestimmungen die gravierendsten Negativkennwerte, die einerseits auf die deklarierten Schwächen des Ist-Modells und andererseits auf die statische Dimensionierung zurückzuführen sind.

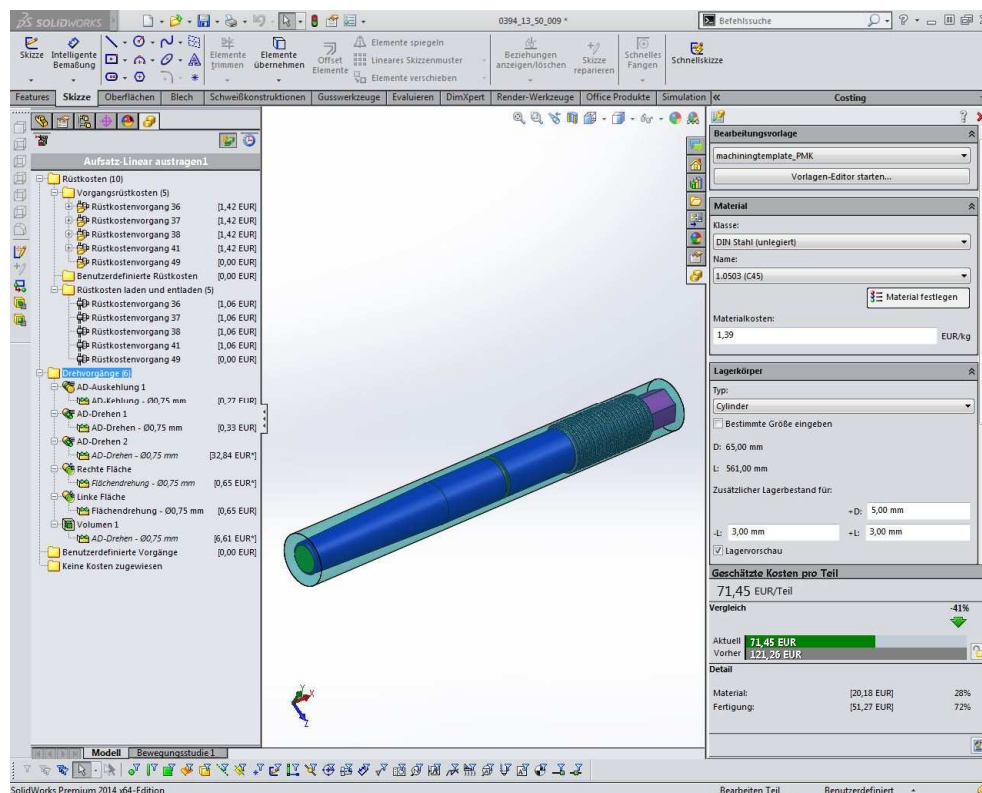


Abbildung: Optimierung der Konstruktionsvariante durch Änderung der Materialgüte am Beispiel der Spreizspindel

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass bereits eine Änderung der Werkstoffqualität (von 42CrMo4 zu C45) das Produkt um ca. 40 % günstiger gestaltet. Voraussetzung ist, dass die statischen Anforderungen derartige Veränderungen zulassen. Im vorliegenden Fall wäre die schlechtere Materialgüte ausreichend gewesen, was bei den geforderten 76 Stück Einsparungen im Wert von 3.785,50 Euro entsprächen. Wie sich im Nachhinein herausstellte war die Anzahl an Spreizspindeln um ein Drittel überzogen. In Zahlen ausgedrückt, entsprächen die Einsparungen gesamt überschlagsmäßig mindestens 5.571,00 Euros, ohne näher auf die Rüstkostenverteilung einzugehen. In Anbetracht dieser Werte muss an eine ökonomisch vertretbare statische Auslegung seitens der Ziviltechniker appelliert werden.

(6) Arbeitsplan für Stahlblechteile 6 mm: Einflussfaktor Eigen- oder Fremdfertigung

Durch den Leistungsvergleich verschiedener Trennschnittverfahren wird mit dieser Konfrontation geklärt, ob das interne Plasmastrahlverfahren den Vorzug gegenüber dem Laserstrahlverfahren rechtfertigt. Die nachstehende Tabelle erklärt in übersichtlicher Form das Zustandekommen der Datenstruktur.

Zeichnungsnr.	Anzahl [Stk.]	BA.-Verf. [kg/Teil]	Rüstzeit Gesamt [min]	Schneidzeit Gesamt [min]	Material- kosten [EUR]	Rüsten [EUR]	Bearbeitung [EUR]	Herstellkosten [Gesamt]
0394_13_10_007	20	Plasma	1,00	9	44,88	4,0	6,98	55,86
		Laser	0,33	6	57,12	0,6	11,96	69,65
		Autogen	1,00	31	44,88	4,0	25,58	74,46
0394_13_10_012	120	Plasma	6,00	20	15,84	20,4	28,61	64,85
		Laser	2,00	13	20,16	3,4	33,22	56,78
		Autogen	6,00	66	15,84	20,4	70,37	106,61
0394_13_10_013	420	Plasma	7,00	65	55,44	12,6	97,86	165,90
		Laser	2,80	43	70,56	11,9	111,72	194,18
		Autogen	7,00	217	55,44	12,6	236,46	304,50
0394_13_10_033	56	Plasma	2,80	26	62,22	11,2	27,55	100,97
		Laser	0,93	18	79,18	1,6	38,30	119,07
		Autogen	2,80	88	62,22	11,2	81,87	155,29
		Plasma	16,80	120,40	178,38	48,2	161,00	387,58
		Laser	6,07	80,27	227,02	17,5	195,20	439,68
		Autogen	16,80	401,33	178,38	48,2	414,28	640,86

Tabelle: Aufschlüsselung der Leistungsdaten im Zuge der Vergleichsaktivitäten der möglichen Herstellverfahren

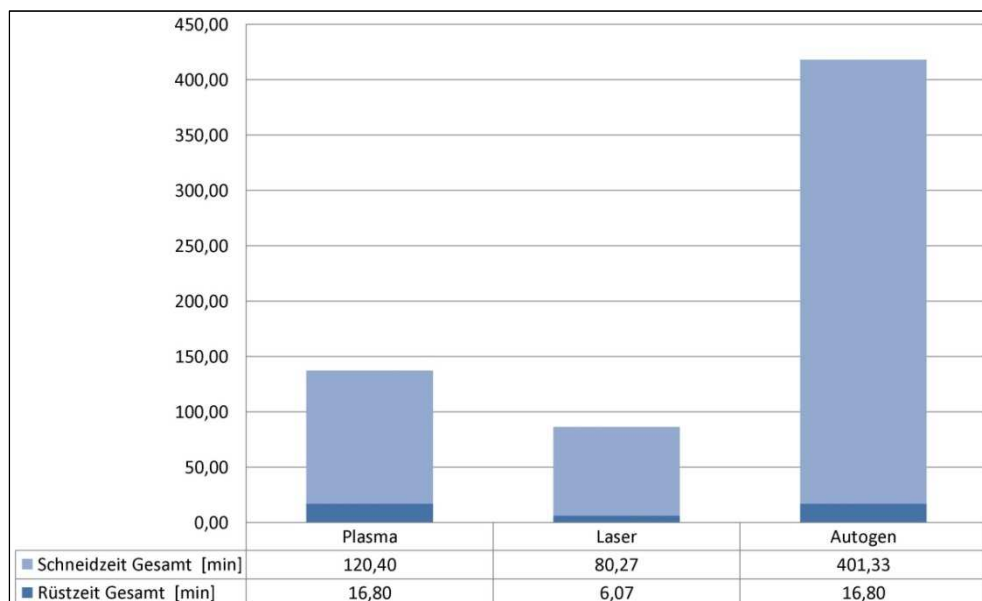


Abbildung: Vergleich der Fertigungszeiten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren am Beispiel des angehängten Arbeitsplanes für die 6 mm dicken Blechteile

Wie aus der Balkendarstellung eindeutig ersichtlich ist, weist das Laserstrahlverfahren offensichtliche Stärken in Bezug auf die Prozesszeit gegenüber den alternativen Methoden auf.

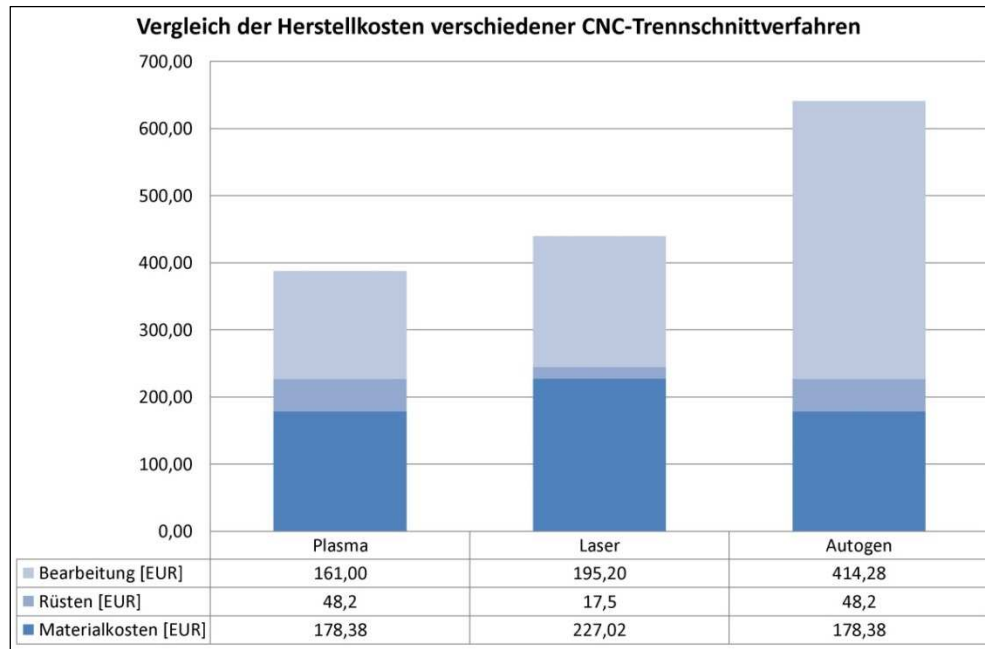


Abbildung: Vergleich der Herstellkosten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren am Beispiel des angehängten Arbeitsplanes für die 6 mm dicken Blechteile

Aufgrund der geringen Stückzahl überwiegt noch der Drang zur Eigenfertigung. Ein weiteres Pro für die Eigenfertigung ist wiederum in Bezug auf die Fixkostenabdeckung zurückzuführen.

(7) Schweißprozess: Einflussfaktor Kehlnahtdicke Ist / Soll

Anhand der vorliegenden Datenbasis wird die gesamte Schalungs-Außenhaut im Rahmen der Prozessbewertungsinitiative gemessen. Hierzu werden nur die theoretischen Datenvorgaben der Ist- und Soll-Situation zur Leistungsbestimmung herangezogen.

Abweichungsfaktor Soll-/ Ist + 1,00

Schweißdraht: 200 m Rolle
 Böhler 1,2mm $\rho = 7,85$ [g/cm³]

Schweißkosten /	a = 3 - 6 mm	1,39	EUR / m	0,50	m / min
Schweißzeit	a = 7 mm	2,37	EUR / m	0,25	m / min
	a = 8 mm	3,35	EUR / m	0,17	m / min
	a = 9 mm	4,34	EUR / m	0,13	m / min
	a = 10 mm	4,34	EUR / m	0,13	m / min

Baugruppe 10: Firstschalung								
Gesamtgewicht:		1.296,00 kg						
Haupt-Schweißposition	Schweißnahtdicke / a-Maß / Anzahl		Gesamtlänge der Schweißnaht [m]	Gesamtmasse der Schweißnaht [kg]	Ist-Schweißzeit [min]	Soll- Schweißzeit [min]	Ist- Schweißkosten [EUR]	Soll- Schweißkosten [EUR]
	IST	SOLL	IST	SOLL				
1	5	4	1	1	18,8	3,69	37,60	26,13
2	4	4	1	1	21	4,12	42,00	29,19
3	4	4	1	1	4,8	0,94	9,60	6,67
4	5	4	1	1	18	3,53	36,00	25,02
5	3	3	1	1	4,2	0,82	8,40	5,84
6	10	7	4	2	1,2	0,94	9,60	5,21
7	5	5	1	1	3	0,59	6,00	4,17
GESAMT / Stück			72,20	14,64	149,20	144,40	102,23	99,87
GESAMT (6 Einheiten)			433,20	87,84	895,20	866,40	613,38	599,20

Baugruppe 20: Seitenschalung links								
Gesamtgewicht:		980,00 kg						
Haupt-Schweißposition	Schweißnahtdicke / a-Maß / Anzahl		Gesamtlänge der Schweißnaht [m]	Gesamtmasse der Schweißnaht [kg]	Ist-Schweißzeit [min]	Soll- Schweißzeit [min]	Ist- Schweißkosten [EUR]	Soll- Schweißkosten [EUR]
	IST	SOLL	IST	SOLL				
1	5	4	1	1	13,6	2,67	27,20	18,90
2	4	4	1	1	15	2,94	30,00	20,85
3	4	4	1	1	4,8	0,94	9,60	6,67
4	5	4	1	1	12,8	2,51	25,60	17,79
5	3	3	1	1	3	0,59	6,00	4,17
6	10	7	4	2	1,5	0,60	12,00	6,51
7	5	5	1	1	4,5	0,88	9,00	6,26
GESAMT / Stück			56,70	11,14	119,40	113,40	81,15	78,20
GESAMT (6 Einheiten)			340,20	66,83	716,40	680,40	486,92	469,19

Baugruppe 30: Bodenschalung								
Gesamtgewicht:		806,00 kg						
Haupt-Schweißposition	Schweißnahtdicke / a-Maß / Anzahl		Gesamtlänge der Schweißnaht [m]	Gesamtmasse der Schweißnaht [kg]	Ist-Schweißzeit [min]	Soll- Schweißzeit [min]	Ist- Schweißkosten [EUR]	Soll- Schweißkosten [EUR]
	IST	SOLL	IST	SOLL				
1	5	4	1	1	10,4	2,04	20,80	14,46
2	4	4	1	1	12	2,36	24,00	16,68
3	4	4	1	1	4,8	0,94	9,60	6,67
4	5	4	1	1	11,4	2,24	22,80	15,85
5	3	3	1	1	3	0,59	6,00	4,17
6	10	7	4	2	1,05	0,42	8,40	4,56
7	5	5	1	1	3	0,59	6,00	4,17
GESAMT / Stück			46,70	9,17	97,60	93,40	66,55	64,48
GESAMT (6 Einheiten)			280,20	55,04	585,60	560,40	399,31	386,90

Baugruppe 40: Seitenschalung rechts								
Gesamtgewicht:		1.291,00 kg						
Haupt-Schweißposition	Schweißnahtdicke / a-Maß / Anzahl		Gesamtlänge der Schweißnaht [m]	Gesamtmasse der Schweißnaht [kg]	Ist-Schweißzeit [min]	Soll- Schweißzeit [min]	Ist- Schweißkosten [EUR]	Soll- Schweißkosten [EUR]
	IST	SOLL	IST	SOLL				
1	5	4	1	1	19	3,73	38,00	26,41
2	4	4	1	1	21	4,12	42,00	29,19
3	4	4	1	1	4,8	0,94	9,60	6,67
4	5	4	1	1	17,4	3,41	34,80	24,19
5	3	3	1	1	4,2	0,82	8,40	5,84
6	10	7	4	2	1,8	0,72	14,40	7,81
7	5	5	1	1	1	0,20	2,00	1,39
GESAMT / Stück			71,00	13,95	149,20	142,00	101,50	97,95
GESAMT (6 Einheiten)			426,00	83,68	895,20	852,00	608,99	587,71

Abbildung: Soll-Ist-Vergleich der Schweißzeit in Abhängigkeit zum Gewicht

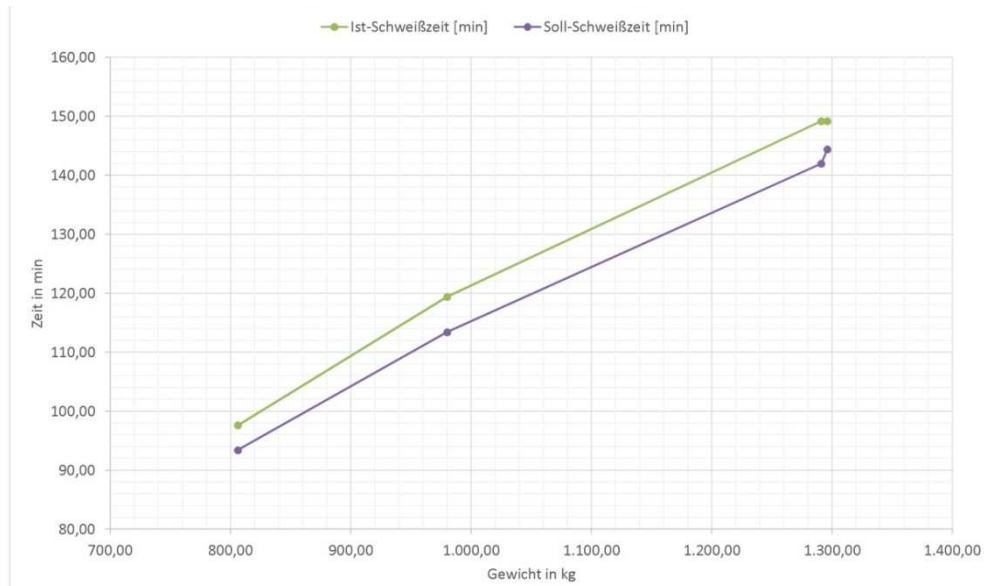


Abbildung: Soll-Ist-Vergleich der Schweißzeit in Abhängigkeit zum Gewicht

Aus der Abbildung lässt sich die Proportionalität des kontinuierlichen Schweißvorgangs in Abhängigkeit zum Gewicht ablesen. Hieraus kann die Zeitbestimmung in Abhängigkeit des Baugruppengewichts eruiert werden. Dieser Sachverhalt kann analog für die Schweißkostenbestimmung verwendet werden. Der Kurvenverlauf wird überwiegend durch die Anzahl der Teile bestimmt, sodass die Zeit- und Kostenentwicklung quantitativ erklärbar wird.

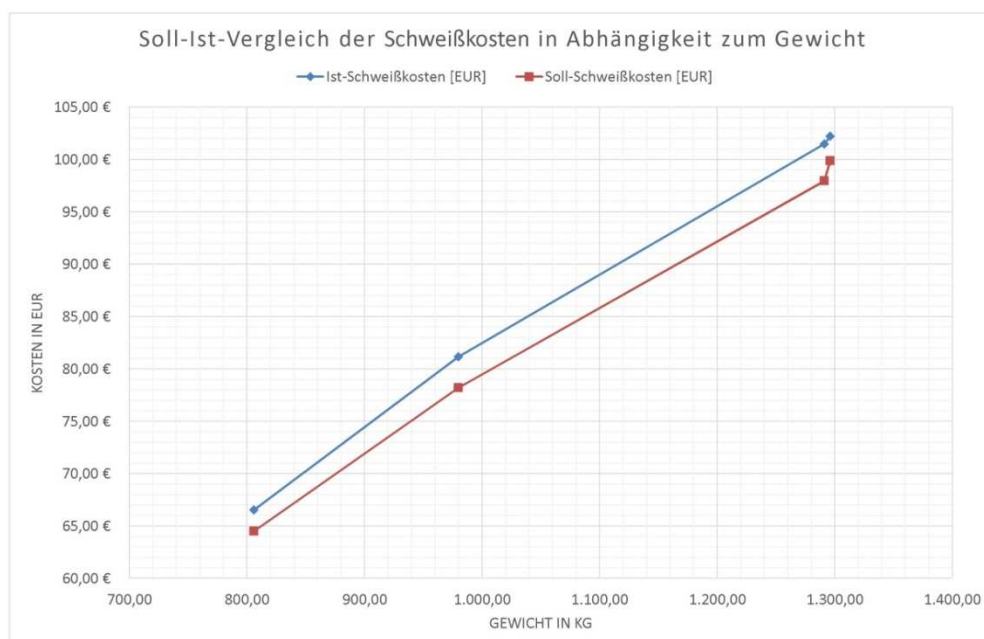


Abbildung: Soll-Ist-Vergleich der Schweißkosten in Abhängigkeit zum Gewicht

A-3.2 Bewerten von projektbezogenen Bauteilen und Baugruppen unter Berücksichtigung der allgemeinen und fertigungsspezifischen Einflussgrößen mit Hilfe der FMEA

Nr.	Konstruktionsvariante	Möglicher Risikofkt.	Ursache	Wirkung	möglicher Worst Case Zustand			
					Prozessfolgen	Beeinflussbarkeit	A* B* E*	RPZ*
1.	eingerollte Aussenbleche fremdbezogen	Kosten bei Fremdfertigung höher als Kosten bei Eigenfertigung / interne Unzulänglichkeiten im Rahmen der Eigenfertigung	fehlende Bewertungs-möglichkeiten für Entscheidungsfindung / nur knappe Eigenproduktionskapazitäten verfügbar / fehlendes Know-How / ungeeignete Produktionsmaschinen	erhöhter Aufwand in der Fehlerbehebung wenn bei der Eigenfertigung Fehlentwicklungen auftreten / bei Fremdfertigung kann ein Teil der Fixkosten nicht abgedeckt werden => Gewinn geht zu Externen über / Know-How-Entwicklung geht verloren	erhöhte Durchlaufzeiten / negative Kostenentwicklung / verspätete Anlagenabnahmen / Kundenzufriedenheit sinkt / Opportunitätskosten	Prozessbeauftragter / Einkauf / Steuerung der Ablaufplanung / Investition in Produktionsfaktoren	8 3 7 168	
2.	Trapezbleche geschweißt	Maßhaltigkeit gem. Zeichnung nicht eingehalten / Verzug der Bleche / Teilevielfalt / Werkstoffmenge	fehlende Produktionsfaktoren / falsche Entscheidung hinsichtlich der Fertigungsmethode / reduzierte Maschinenarbeit	steigende Anzahl der Bearbeitungsschritte / unnötig belegte Produktionsfaktoren /	Anstieg der Durchlaufzeiten / steigende Kostenentwicklungen / Opportunitätskosten /	Veränderung der Konstruktionsgestaltung, Teilreduktion / Änderung der Fertigungstechnologie	5 6 10 300	
3.	konischer Absteckbolzen	Zahl und Art der Wirkflächen zu groß / Werkstoffart zu hochwertig / Maschinenarbeit zu große Werkstoffmenge / steigende Komplexität / Funktionsfähigkeit	Betrachtung nur auf Herstellspekt nicht auf Gesamteinfluss während des Betriebs / konstruktive Schwachstellen / Variantenvielfalt fehlt	fehlende Funktionalität verzögert Prozessablauf im Betrieb der Schalung für das Lösen und Sichern des Absteckbolzens (Schalung ist klappbar)	Anstieg der Durchlaufzeiten / steigende Kostenentwicklungen beim Kunden selbst	Änderung der Funktionalität / Material / Maßtoleranz / Abmessungen / Reduzierung der Bearbeitungsschritte / Ändern der Sicherungsmethode	4 10 7 280	
4.	Spreizspindel	Zahl und Art der Wirkflächen zu groß / Werkstoffart zu hochwertig / Maschinenarbeit zu große Werkstoffmenge / Funktionstfähigkeit	Betrachtung nur auf Herstellspekt nicht auf Gesamteinfluss während des Betriebs / konstruktive Schwachstellen / Variantenvielfalt fehlt / statische Ungenauigkeiten bzw Überdimensionierungen	hohe Anzahl an Spreizspindeln verzögert Betrieb der Schalung zum Verspreizen an der Außenwand / hohe Anzahl bedarf auch der gleichen Anzahl an Laufbuchsen => dadurch verdoppelt sich sogar die negative Auswirkung	Anstieg der Durchlaufzeiten / steigende Herstellkosten / steigende Lebenslaufkosten	Statik / Material / Stückzahl / Konstruktionsgestaltung / Reduzierung der Komplexität	8 10 10 800	

Abbildung: Design-FMEA zur Bewertung kritischer Bauteile

mögliche Maßnahmen	Verbesserter Zustand				Kosten
	Getroffene Maßnahmen	A* B*	E*	RPZ*	
externen Berater hinzuziehen / Investition in neue Produktionsmaschinen / Ablaufplanung steuern	Eigenfertigung	3 8	4	96	€ 3.405,00
Trapezbleche durch Kantprozess herstellen	gekanntete Trapezbleche	1 9	1	9	€ 2.592,00
einfache Sicherungsvarianten konzipieren / Werkstoffgüte herabsetzen / Maßtoleranz senken	Entscheidung zu Gunsten der Funktionalität anstelle des Kostenfaktors => konischer Absteckbolzen mit Schlagkeil zur Bolzensicherung	4 6	6	144	€ 397,00
Überarbeiten der Statik / Werkstoffalternativen verwenden / Stückzahlen reduzieren /	Werkstoffalternativen verwenden / Stückzahlen reduzieren / Werkstoffmenge herabsetzen	2 10	2	40	€ 5.571,00

Abbildung: Design-FMEA zur Bewertung des verbesserten Zustandes

A* ... Auftreten (Einflussfaktor) Wahrscheinlichkeit unwahrscheinlich = 1 selten = 2 - 3 oft = 4 - 6 sehr oft = 7 - 8 fast sicher = 9 -10		B* ... Bedeutung aus monetärer Sicht Auswirkung, Tragweite sehr geringer Einfluss = 1 eher geringer Einfluss = 2 - 3 mäßig hoher Einfluss = 4 - 6 hoher Einfluss = 7 - 8 äußerst hoher Einfluss = 9 -10	
E* ... Entdeckung des Einflusses Wahrscheinlichkeit der Einflussserkennung sehr früh = 1 eher früh = 2 - 3 spät = 4 - 6 sehr spät = 7 - 8 gar nicht = 9 -10		RPZ* ... Risiko-Prioritätszahl für die Einflussfaktoren hoch <= 800 mittel <=400 gering <= 250 kein = 1	

Abbildung: Legende der Design-FMEA am Beispiel der kritischen Bauteile

A-4 Implementierungsmaßnahmen des CAD-integrierten Messwerkzeuges

Die folgenden Punkte erläutern die einzelnen Stufen des Implementierungsplans. Vom Konzept bis hin zur CAD-integrierten Benutzeroberfläche verdeutlichen die Implementierungsmaßnahmen die entscheidenden Meilensteine der Entwicklungsstufen. Beginnend mit den Initiativmaßnahmen, durchwandert der Einführungsprozess die Phasen der Implementierung des CAD-integrierten Messwerkzeuges als Pilotprojekt in den Produktentwicklungsprozess. Dieser Abschnitt markiert erstmals, durch die Konfrontation der Ist- mit den Soll-Kennwerten, Optimierungschancen im Zuge der Messmethodik. Abschließend vervollständigt eine Anwenderdokumentation vorerst den Implementierungsstatus und zielt darauf ab, das Verständnis für den richtigen Umgang mit dem Werkzeug zu festigen und Unklarheiten zu beseitigen.

Bei sorgfältiger Konzipierung werden die durchlaufenen Arbeitsprozesse in Echtzeit widergegeben und weisen auf Zielkonflikte hin, auf denen mit Gegenmaßnahmen reagiert werden kann. Die Vorgangsweise zur systematischen Umsetzung des CAD-integrierten Werkzeuges sieht nachstehenden Ablauf vor:

4.1	<i>IT-Infrastrukturanpassung</i>	<i>Initiativ- Maßnahmen</i>
	<i>Anlegen einer Zentraldatenbank</i>	
	<i>Datensynchronisation zwischen Zentraldatenbank und CAD-Infrastruktur</i>	
4.2	<i>Systemvorlage – Blechbearbeitung</i>	
4.3	<i>Systemvorlage – maschinelle Bearbeitung</i>	
4.4	<i>Anwenderdokumentation und Einschulung</i>	
4.5	<i>Das CAD-integrierte Messwerkzeug im Pilotprojekt</i>	

Tabelle: Vorgangsweise zur Implementierung des CAD-integrierten Werkzeuges

A-4.1 Initiativmaßnahmen

Die Initiativmaßnahmen stellen die Aktivitäten dar, die zwingend vor dem Implementierungsprozess des Messwerkzeuges in die CAD-Infrastruktur abzuwickeln sind. Dazu muss das Wichtige vom Unwichtigen getrennt werden. Dieser zielkostenorientierter Ansatz setzt jedoch eine vertrauensvolle und transparente Zusammenarbeit aller kostentreibenden und -erfassenden Abteilungen voraus.

1) *IT-Infrastrukturanpassung*

Es liegt nahe, dass eine taktische Vorgehensweise im Konstruktions- und Engineering-Prozess über den Erfolg der kundenspezifischen Anlage entscheidet. Beginnend mit diesem Abteilungsbereich wurde bereits vor 5 Jahren die 2D-Konstruktionssoftware AutoCAD durch das 3D-CAD-System SolidWorks rationalisiert. Diese Anpassung ist unter anderem in Bezug mit der Anschaffung einer NC-Fräsmaschine unternommen worden, welche wiederum ein CAD-integriertes CAM-Werkzeug für eine effiziente Programmierung voraussetzt. Diese IT-Konfiguration allein ist zwangsläufig unvollständig, da in Bezug der geforderten Sonderlösungen und des steigenden Komplexitätsgrades immer kürzere Lieferzeiten bei geringstem Ressourceneinsatz vorgeschrieben werden. Abhilfe schaffen erweiterte Simulationswerkzeuge, die Prozesse anhand ihrer tatsächlichen ökonomischen Rahmenbedingungen abbilden können.

2) *Anlegen einer Zentraldatenbank*

Zu Beginn der Applikation wird eine Zentraldatenbank mittels Microsoft Access angelegt. In dieser Informationsplattform laufen alle erfassten Datenströme für die Analyse der Herstellinformationen zusammen und ermöglichen ferner barrierefreie Kommunikationsflüsse. Produktionsrelevante Daten sind alle Kosten-, Stunden-, Material-, Maschinen-, Werkzeug-, Bearbeitungs-, Rüst-, Kosten- und Zeitdaten. Sie werden in Zusammenarbeit mit den Abteilungen Einkauf, Stahlbau und Blechbearbeitung, Plasma-/ Autogenschnitt, Fräserei und Dreherei sowie mit den Benchmarking-Partnern in der externen Datenverwaltung (HAPAK-Datenverwaltungssystem) dokumentiert. Die Zentraldatenbank untergliedert sich in Blechbearbeitung (allgemeiner Stahlbau,

Plasma-/ Autogenschnitt, Blechbearbeitung) und Spanende Bearbeitung (Dreherei / Fräserei), die zwei wesentliche Kostenstellen des Unternehmens darstellen. Per Mausklick exportieren die Programmieranweisungen dieser „neutralen“ Datenbank sämtliche Material-, Personal-, Technologie- und Leistungsdaten aus dem externen Datenverwaltungsprogramm und importieren diese Informationen wiederum in die Organisationsstruktur der Zentraldatenbank. Diese formale Datensynchronisation ermöglicht es, über die CAD-Anwenderoberfläche auf die aktuellen Informationen zuzugreifen. Denn bei Anwenderzugriff werden diese Daten auf Basis der Konstruktionsfeature in die CAD-integrierte Plattform importiert und ergebnisorientiert präsentiert.

3) *Datensynchronisation zwischen Zentraldatenbank und CAD-Infrastruktur*

Bei Erfordernis der Aktualität werden die eingepflegten Datensätze des externen Datenverwaltungssystems zwischen den integrierten IT-Systemen erneut synchronisiert. Nur so nähert man sich dem Ziel zur Messung praxistauglicher Ergebnisse. Allein die exakteste Aufnahme der Produktions-, Material-, Kosten- und Zeitdaten in die Stammdatenbank garantieren eine ökonomisch sinnvolle Anwendung des produktentwicklungsbegleitenden Messwerkzeuges. Die Zentraldatenbank stellt somit den Knotenpunkt zwischen Datenverwaltung und CAD-Station dar. Die Bauteile und Baugruppen der Spezifikationsbereiche Stahlbau, Blechbearbeitung, Plasma-/ Autogenschnitt sowie Dreherei / Fräserei werden durch zwei unterschiedliche Systemvorlagen gesteuert.

A-4.2 Systemvorlage – Blechbearbeitung

Die blechspezifische Systemvorlage enthält Produktions- und Produktionsvorbereitungsdaten über Brennschneiden, Laserschneiden (externer Zulieferer, Biegeverfahren sowie teilespezifischer Oberflächenbehandlungen wie Lackieren, Eloxieren, Verzinken und anderer Behandlungsarten. In enger Zusammenarbeit mit der Firma Messer (Brennschneidanlage), Amada (Abkantpresse) und der internen Produktionsabteilung werden die maschinenbezogenen Daten über Schnittgeschwindigkeiten, Schnittkosten und die Kosten pro Biegung und anderer Formgebungsverfahren in Abhängigkeit zu den Materialstärken und

Materialien in die Vorlage eingepflegt. Des Weiteren muss die Stromabgabe sowie das Gasgemisch bei stark divergierenden Materialien variiert und dementsprechend dokumentiert werden. Die Betriebskosten setzen sich aus Verschleißteilen (Düsen, Düsenkopf, sowie Schläuche, Armaturen, usw.), Gas- und Strom-verbrauch sowie aus Lohn-, Arbeits- und einen Gemeinkostenanteil zusammen. Den Bezug zu den Personalkosten und den maschinenabhängigen Kosten stellt das Instrument über die Systemvorlage „maschinelle Bearbeitung“ her, um eine Mehrfacherfassung zu vermeiden und so einen schlüssigen Datenbezug vorzulegen. Die chronologische Herangehensweise wird in den nächsten Punkten detailliert wiedergegeben.

1)	<i>Anlegen des firmenspezifischen Materialstamms „Blech“</i>	<i>Initiativ- Maßnahmen</i>
2)	<i>Anlegen der Bearbeitungskosten und Bearbeitungszeiten für Blechteile und CNC-Trennschnittmethoden</i>	
3)	<i>Anlegen der firmenspezifischen Rüstkosten und der Kosten für blechspezifischer und benutzerdefinierter Operationen</i>	

Tabelle: Initiativmaßnahmen für die Erstellung der Systemvorlage – Blechbearbeitung

1) Anlegen des firmenspezifischen Materialstamms „Blech“

Für die Herstellung von Maschinen und Anlagen des Untertagebaus sind verschiedene Materialsorten und Güteklassen erforderlich. Die Materialkosten sind die Kosten in der Vorlage für die ausgewählte Kombination von Materialklasse, Materialname und Materialdicke. Die Informationen für die deklarierten Bleche wurden über die Einkaufsabteilung und verschiedener Werkstoffdatenblätter eingeholt, im Datenverwaltungsprogramm hinterlegt und über die Access-Datenbank in die Systemvorlage synchronisiert. Anhand dieser Informationen lassen sich die relativen Materialeinzelkosten vergleichen und so leichter Entscheidungen hinsichtlich der Konstruktion treffen.

2) Anlegen der Bearbeitungskosten und Bearbeitungszeiten für Blechteile und CNC-Trennschnittmethoden

Informationen zu Schnittgeschwindigkeit sind in der zugehörigen Dokumentation der Brennschneidanlage hinterlegt, wobei sämtliche Daten ausschließlich über die Maschinensoftware der Firma Messer bezogen wurden und entsprechend des tatsächlichen Outputs angepasst. Die Bedingung für die Richtigkeit der Angaben ist die uneingeschränkte Verwendung von Werkzeugen und Verschleißteilen der Firma Messer. Um die tatsächliche Effizienz des Schneidvorgangs berechnen zu können müssen Produktivität und Betriebskosten der Schneidanlage im Zeitablauf berücksichtigt und über das arithmetische Mittel festgelegt werden. Eine Zeitspanne von einem Jahr ist wünschenswert, da dieser operative Zeitabschnitt die einzelnen Quartale am besten darstellt.

Die Biegemethoden basieren grundsätzlich auf standardisierte Biegungen der Fertigung, die vom Messwerkzeug automatisch erkannt werden. Unter Eigeninitiative kann der Entwicklungskonstrukteur jedoch die automatische Verfahrenszuweisung unterbinden und in firmenspezifische Operationen wie dem Bördelverfahren ändern. Der Datenstamm für firmeninterne Operationen wird separat in der Vorlage hinterlegt, kann aber auch im Nachhinein manuell eingebunden werden.

3) Anlegen der firmenspezifischen Rüstkosten und der Kosten für blechspezifischer Operationen

Rüstkosten und Kosten für blechspezifische und benutzerdefinierter Operationen werden über die von den Werkzeuglieferanten und der internen Produktionsabteilung errechneten Zeitvorgaben erfragt und in Kosten übergeführt und dokumentiert.

A-4.3 Systemvorlage – Maschinelle Bearbeitung

Diese Vorlage ist der Grundstein für die Berechnung der Herstellkosten eines maschinell bearbeiteten Teils. Maschinell bearbeitete Teile liegen anfangs als Rohmaterial in Form eines Materialblocks, eines Materialzylinders oder einer

Blechplatte bzw. Halbzeuges vor. Das Material wird anschließend geschnitten, gefräst, gedreht oder gebohrt bis der finale Teilzustand erreicht ist. Zudem ist es möglich Mehrkörper-Teile, die aus blech- oder maschinell bearbeiteten Körpern bestehen, einer Analyse zu unterziehen, jedoch sind erhebliche Defizite in Bezug auf den Wahrheitsgehalt erkennbar. Die chronologische Herangehensweise wird in der nachfolgenden Tabelle detailliert aufgeschlüsselt.

1)	<i>Anlegen der maschinenspezifischen Grunddaten</i>	Initiativ-Maßnahmen
2)	<i>Anlegen des firmenspezifischen Materialstamms „Spanende Bearbeitung“</i>	
3)	<i>Definieren verfahrensabhängiger Werkzeuge</i>	
4)	<i>Anlegen der firmenspezifischen Rüstkosten und der Kosten für spanender und benutzerdefinierter Operationen</i>	
5)	<i>Anlegen der Bearbeitungskosten und Bearbeitungszeiten für maschinelle Bearbeitung</i>	

Tabelle: Initiativmaßnahmen für die Erstellung der Systemvorlage – Maschinelle Bearbeitung

1) Anlegen der maschinenspezifischen Grunddaten

Als ersten Schritt werden sämtliche firmenspezifische Maschinen per Dateneintragung in die Systemvorlage eingepflegt. Dieser Elementarprozess umfasst Allgemeinangaben zu Maschinennamen, -typ und -leistungsbereich. Darüber hinaus wird die Funktionsbandbreite für die jeweiligen spanabtragenden Produktionsmaschinen definiert. Hierunter versteht man Fertigungsverfahren im Sinne von Fräs-, Dreh- oder Bohrprozessen. Ausschließlich in dieser Vorlage sind die spezifischen Hauptangaben zu den Maschinen- und Arbeitskosten festgelegt. Zudem enthält die Vorlage erweiterte Informationen zu Materialkosten und Materialform, Produktions- und Maschinenbearbeitungskosten sowie Kosten für die Produktionsvorbereitung im Rahmen spanabtragender Bearbeitungsschritte. In der nachstehenden Tabelle werden die Funktionsbereiche der Bearbeitungsmaschinen deutlich und geben einen quantitativen Auszug des Kostenaufbaus. Es werden aufgrund der fehlenden

Kostenrechnung nur die Kostenangaben der Kalkulation in die Vorlage integriert bzw. die aus einzelnen Prozessanalysen stammenden korrigierten Zahlenwerte.

2) Anlegen des firmenspezifischen Materialstamms „Spanende Bearbeitung“

Zu Beginn der Datensynchronisierung werden die Materialstammdaten samt Preis vom betriebsinternen DV-System HAPAK durch die entsprechende Programmschleife in die übergeordnete Accessdatenbank geladen und stehen aktualisiert dem CAD-integrierten Werkzeug zur Verfügung. Der Datentransfer mit dem Messwerkzeug erfolgt ausschließlich über die Accessdatenbank, in der die Materialinformationen hinterlegt sind. Der Rohling kann entweder über die Datenbank gewählt werden oder benutzerdefiniert eingegeben werden. Die in der Hauptdatenbank hinterlegten Materialauszüge sind stark komprimiert in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich, können jedoch lückenlos im Anhang nachgeschlagen werden.

3) Definieren verfahrensabhängiger Werkzeuge

Die Wahl der Werkzeuge für spanabtragende Bearbeitungsprozesse wird anhand geforderter Rauheitswerte der Teilloberflächen festgelegt. Ziel ist die Effizienzsteigerung verwendeter Werkzeuge durch optimale Balance zwischen Arbeitseingriff (Breite des Werkzeuges), Schnitttiefe, Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit sowie die Anzahl der sich im Eingriff befindlichen Schneiden. Die Werkzeugbewertung obliegt dem Facharbeiter selbst, der die Werkzeugeinsätze mit dem Werkzeuglieferanten abklärt und entsprechend der Bearbeitungsmethode festlegt.

4) Anlegen der firmenspezifischen Rüstkosten und der Kosten für spanender und benutzerdefinierter Operationen

Rüstkosten und Kosten für dreh-, fräs- und benutzerspezifischer Operationen werden über die von den Werkzeuglieferanten und der internen Produktionsabteilung vorgegebenen Rüstzeiten in Kosten übergeführt und dokumentiert. Für manche Teilbearbeitungsverfahren muss das Werkstück umgespannt und neu positioniert werden, sodass neue Rüstvorgänge erforderlich werden, die jedoch separat ausgewiesen werden müssen.

5) Anlegen der Bearbeitungskosten und Bearbeitungszeiten für maschinelle Bearbeitung

In Zusammenarbeit mit der internen Produktionsabteilung und den externen Maschinen- und Werkzeuglieferanten werden Fertigungsdaten festgelegt, die möglichst die tatsächlichen Kosten widerspiegeln. Die Angaben der Schnittgeschwindigkeiten sind abhängig von den verwendeten Werkzeugen. Im Anschluss werden die Leistungsinformationen mit dem prozessbeteiligten Facharbeiter näher spezifiziert. Besonders die Angaben der verwendeten Bohr-, Dreh- und Fräswerkzeuge wirken sich bei falscher Datenaufnahme negativ auf das Endergebnis aus. Das ist hinsichtlich hoher Stückzahlen fatal und muss dementsprechend exakt aufgenommen und bewertet werden. Sämtliche Bearbeitungsverfahren mit geringem Maschinenarbeitsgrad werden ausschließlich manuell den Tabellen entnommen und in das CAD-Bauteil integriert.

A-4.4 Anwenderdokumentation und Einschulung

Die Anwenderdokumentation hat den Zweck, die Funktionsweise des CAD-integrierten Werkzeuges lückenlos zu erklären, um es problemlos, konsequent und effizient einsetzen zu können. Deshalb kommen die Anwender nicht daran vorbei, nach der Durchsicht der Dokumentation eine umfassende Einschulung des Einsatzspektrums, welches dieses Werkzeuges bereithält, zu absolvieren. Die vollständige Anwenderdokumentation ist jedoch nicht Inhalt dieser Dissertation. Vielmehr wird ein Grundauszug der wichtigsten Funktionen vorgestellt.

Der erste Teil des Workshops umfasst die Sensibilisierung auf die bevorstehende Integration des CAD-integrierten Messinstrumentes. Den prozessinvolvierten Mitarbeitern muss deutlich gemacht werden, dass ab dem Zeitpunkt der Werkzeugimplementierung, der Fertigungsprozess einer fortwährenden Überwachung unterzogen wird. Während der Implementierung im Pilotbetrieb wird der Workshop fortgesetzt. In dieser Phase werden die Prozessbeteiligten detailliert in die Funktionsweise des Messwerkzeuges eingeführt und parallel werden potentielle Problemfelder lokalisiert und nachgebessert.

A-4.5 Das CAD-integrierte Messwerkzeuges im Pilotprojekt

Die Inbetriebnahme der neuen IT-Module kann bei unzureichenden bzw. unzugänglichen Anwenderkenntnissen zu erheblichen Übergangsproblemen und damit verbundenen Folgekosten führen. Deshalb werden entsprechende Zugriffserlaubnisse nur durch den Hauptprozessbeauftragten der Konstruktion erteilt. Dieser beschränkt die Zugriffsmöglichkeiten entsprechend dem Verantwortungsbereich und händigt dafür die darauf angepasste Dokumentation aus.

Für die prozesskonforme Inbetriebnahme des Instrumentes gilt es folgende Punkte zu beachten:

- Durchsicht der Anwenderdokumentation
- Sensibilisierung der Produktionsabteilung auf determinierte Ergebniskontrollen
- Probetrieb als Integrationstest mit Personal und Technik
- Aufspürung von Mängeln während des Betriebes
- Adaptierung des Werkzeuges anhand Soll-Ist-Daten

Die Funktionen des Werkzeuges werden für die jeweiligen Prozessvertrauten nur dann freigegeben, wenn das Tool nach der Adaptierung praxisnahe Ergebnisse erzielt. Ab diesem Zeitpunkt erstellt der Hauptprozessbeauftragte ein Backup, dessen Entwicklungsstand bei Totalausfall bzw. missbräuchlicher Verwendung jederzeit wieder hergestellt werden kann. Ziel der Implementierung des CAD-integrierten Messwerkzeuges als Pilotprojekt ist die Einschränkung der Ausfallzeiten, um laufende Konstruktionsentwicklungsprozesse störungsfrei aufrechterhalten zu können.

A-5 Absicherung der Datenerhebung entsprechend der Prozessanalyse durch Archivierung der Leistungsdaten in die Datenbankinfrastruktur

A-5.1 Materialstamm Blech

Die gängigsten Blechmaterialien im Unternehmen sind:

<i>Materialklasse</i>	<i>Material-bezeichnung</i>	<i>Blehdicke</i>	<i>Material-kosten [EUR/kg]</i>	<i>Eigenschaften</i>	<i>Anwendungsbereich</i>
Unlegierte Baustähle	S235JR S355JR E335	0,5 bis 150mm	0,72-0,93 0,94-0,96 1,29-1,57	Sehr gute Schweißbarkeit, gute Festigkeit, sehr gute Blechbearbeitung möglich	allgemeiner Stahlbau
Legierte Stähle	16MnCr5	8 bis 150mm	2,51-2,61	Gute Schweißeigenschaften, hohe Festigkeit, gute Abkanteigenschaften	Blechrohlinge für Achslager, Zahnkränze, usw.
Unlegierte Stähle	42CrMo4	8 bis 150mm	4,20-4,68	begrenzt schweißbar, hohe Festigkeit, gute Abkanteigenschaften	Blechrohlinge für Spurkranzräder, Schwerlasträder
Verschleißfeste Stähle	Hardox450	3,2 bis 80mm	2,50-2,80	Hohe Festigkeit, hohe Verschleißfestigkeit, gut schweißbar, schlechte Abkanteigenschaften	Panzerung für Tunnelmischer, Abflussrinnen, Hammer-schläger, Siebe

Tabelle: Übersicht Blechmaterial für Allgemeinen Stahlbau, Blechbearbeitung und Autogen- und Plasmabrennschnitt sowie zur Rohteil- und Halbzeugherstellung

122	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	0,5	0,92
123	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	0,8	0,88
124	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	1,0	0,86
125	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	1,3	0,87
126	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	1,5	0,85
127	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	2,0	0,85
128	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	2,5	0,85
129	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	3,0	0,72
130	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	4,0	0,72
131	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	5,0	0,72
132	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	6,0	0,72
133	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	8,0	0,72
134	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	10,0	0,73
135	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	12,0	0,73
136	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	15,0	0,73
137	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	20,0	0,82
138	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	25,0	0,73
139	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	30,0	0,73
140	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	35,0	0,72
141	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	40,0	0,73
142	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	45,0	0,73
143	DIN Stahl (Baustahl)	St.37-2	50,0	0,73
144	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	3,0	0,95
145	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	4,0	0,95
146	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	5,0	0,95
147	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	6,0	0,95
148	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	8,0	0,95
149	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	10,0	0,95
150	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	12,0	0,95
151	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	15,0	0,95
152	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	20,0	0,95

153	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	25,0	0,95
154	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	30,0	0,95
155	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	35,0	0,95
156	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	40,0	0,95
157	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	50,0	0,95
158	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	60,0	0,95
159	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	70,0	0,95
160	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	80,0	0,95
161	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	90,0	0,95
162	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	100,0	0,95
163	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	110,0	0,95
164	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	120,0	0,95
165	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	130,0	0,95
166	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	140,0	0,95
167	DIN Stahl (Baustahl)	St.52-3	150,0	0,95
168	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	8,0	4,68
169	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	10,0	4,68
170	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	12,0	4,68
171	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	15,0	4,68
172	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	20,0	4,68
173	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	25,0	4,68
174	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	30,0	4,68
175	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	35,0	4,68
176	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	40,0	4,68
177	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	45,0	4,47
178	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	50,0	4,47
179	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	60,0	4,47
180	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	70,0	4,52
181	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	80,0	4,52
182	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	90,0	4,20
183	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	100,0	4,52
184	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	110,0	4,52
185	DIN Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	120,0	4,52
186	Verschleißfester Stahl	Hardox450	4,0	2,80
187	Verschleißfester Stahl	Hardox450	5,0	2,69
188	Verschleißfester Stahl	Hardox450	6,0	2,70
189	Verschleißfester Stahl	Hardox450	8,0	2,70
190	Verschleißfester Stahl	Hardox450	10,0	2,70
191	Verschleißfester Stahl	Hardox450	12,0	2,70
192	Verschleißfester Stahl	Hardox450	15,0	2,70
193	Verschleißfester Stahl	Hardox450	20,0	2,70
194	Verschleißfester Stahl	Hardox450	25,0	2,70
195	Verschleißfester Stahl	Hardox450	30,0	2,50
196	Verschleißfester Stahl	Hardox450	35,0	2,50
197	Verschleißfester Stahl	Hardox450	40,0	2,50
198	Verschleißfester Stahl	Hardox450	45,0	2,50
199	Verschleißfester Stahl	Hardox450	50,0	2,50
200	Verschleißfester Stahl	Hardox450	60,0	2,50
201	Verschleißfester Stahl	Hardox450	70,0	2,50
202	Verschleißfester Stahl	Hardox450	80,0	2,50
203	Verschleißfester Stahl	Hardox450	3,2	2,72

Tabelle: Teilauszug des Hauptmaterialstamm Blech

A-5.2 Materialstamm – Allgemeine und Spanende Bearbeitung

Eine Übersicht der gängigsten Materialien des Allgemeinen Stahlbaus und der Spanenden Bearbeitung kann wie folgt aufgelistet werden.

Material	Material- bezeich- nung	Material „Zylinder “	Material „Blechplatte“ 3000x1500mm	Material „Block“	Material- kosten EUR/kg	Mindest- Streck- grenze R _e [N/mm²]	Anwendungs- bereich
Baustahl	S235JR, S355JR	Ø 3 bis Ø 300mm;	1 bis 150mm	Benutzerdefinierte Eingabe der X-Y-Z-Werte	0,72-1,00 0,95-1,10	235 275	allgemeiner Stahlbau
Legierte Stähle	16MnCr5	Ø 10 bis Ø 150mm	8 bis 150mm		2,51-2,70	590	Geschweißte Antriebswellen und Achsen
Unlegierte Stähle	42CrMo4 C45	Ø 8 bis Ø 150mm	8 bis 150mm		4,50-4,82 1,40-1,47	750 580	Antriebswellen, Bolzen, Spindeln, Achsen
Verschleiß- -feste Stähle	Hardox450	---	3,2 bis 80mm		2,50-2,90	1200	Panzerung für Tunnelmischer, Abflussrinnen, Siebe
Edelstahl	1.4301 1.4571	Ø 10 bis Ø 120 mm	1 bis 30mm		2,10-3,25 2,60-3,95	400 400	Überall dort wo aggressive Medien einwirken
Aluminium- -legierung	EN AW- 5083 EN AW- 7075	Ø 10 bis Ø 200 mm	3 bis 30mm		3,40-6,55 4,30-7,60	270 505	Überall dort wo leichte Bauweise notwendig ist
Kupfer- -legierung	2.0402 2.0936	Ø 10 bis Ø 80 mm	3 bis 30mm		7,00-8,80 8,50-10,80	250 250	wartungsfreie Gleitlager- buchsen, Gleitführungen

Tabelle: Übersicht Vollmaterial für Allgemeinen Stahlbau und Spanende Bearbeitung

Pos.	Klasse	SolidWorks Material	Benutzerdefiniertes Material	Rohteiltyp	Dicke (mm)	Kosten (EUR/kg)
1	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Block		6,20
2	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	8,0	4,30
3	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	10,0	5,30
4	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	12,0	5,30
5	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	15,0	4,95
6	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	20,0	4,60
7	Aluminiumlegierungen	7075-O (SS)	7075-O (SS)	Zylinder	entfällt	7,60
8	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	25,0	4,60
9	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	4,0	6,20
10	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	30,0	4,60
11	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	5,0	5,30
12	Aluminiumlegierungen	7075-T6, Platte (SS)	7075-T6, Platte (SS)	Platte	6,0	5,30
14	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Block	entfällt	4,10
21	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	8,0	3,50
22	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	10,0	3,50
23	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	12,0	3,50
24	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	15,0	3,50
25	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	20,0	3,50
26	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	25,0	3,50
27	Aluminiumlegierungen	3.1645 (EN AW-2007)	3.1645 (EN AW-2007)	Zylinder	entfällt	6,55
28	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	30,0	3,50
29	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	0,8	3,40
30	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	1,0	3,40
31	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	1,5	3,40
32	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	2,0	3,40
33	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	2,5	3,40
34	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	3,0	3,40
35	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	4,0	3,40
36	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	5,0	3,40
37	Aluminiumlegierungen	3.3547 (EN-AW 5083)	3.3547 (EN-AW 5083)	Platte	6,0	3,40
38	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Block	entfällt	8,80
39	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	12,0	8,50
40	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	15,0	8,50
41	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Zylinder	entfällt	10,80
42	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Zylinder	entfällt	8,80
43	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	6,0	7,00
44	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	20,0	8,50
45	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Block	entfällt	10,80
46	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	4,0	7,00
47	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	5,0	7,00
48	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	25,0	8,50
49	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	8,0	7,00
50	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	10,0	7,00
51	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	12,0	7,00
52	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	15,0	7,00
53	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	20,0	7,00
54	Kupferlegierungen	2.0402 (CuZn40Pb2)	2.0402 (CuZn40Pb2)	Platte	25,0	7,00
55	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	4,0	8,50
56	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	5,0	8,50
57	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	6,0	8,50
58	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	8,0	8,50
59	Kupferlegierungen	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	2.0936 (CuAl10Fe3Mn2)	Platte	10,0	8,50
60	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Zylinder	entfällt	2,69
61	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	120,0	2,61
62	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Block	entfällt	2,69
63	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	110,0	2,61
64	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	100,0	2,61
65	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	90,0	2,61
66	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	80,0	2,58
67	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	70,0	2,58
68	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	60,0	2,54
69	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	50,0	2,54
70	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	45,0	2,54
71	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	40,0	2,51
72	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	35,0	2,51
73	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	30,0	2,51
74	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	25,0	2,51
75	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	20,0	2,51
76	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	15,0	2,51
77	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	12,0	2,51
78	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	8,0	2,51

79	Stahl (legiert)	1.7131 (16MnCr5)	1.7131 (16MnCr5)	Platte	10,0	2,51
80	Stahl (Automatenstahl)	1.0736 (11SMn37)	1.0736 (11SMn37)	Zylinder	entfällt	1,10
81	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	12,0	3,25
82	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	15,0	3,25
83	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	20,0	3,25
84	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	25,0	3,25
85	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Block	entfällt	2,35
86	Stahl (Edelstahl)	1.4541 (X6CrNiTi18-10)	1.4541 (X6CrNiTi18-10)	Block	entfällt	2,71
87	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	30,0	3,25
88	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	1,0	3,85
89	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	1,5	3,85
90	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	2,0	3,85
91	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	3,0	3,85
92	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	4,0	3,85
93	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	5,0	3,85
94	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	6,0	3,85
95	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	8,0	3,85
96	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	10,0	3,85
97	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	12,0	3,95
98	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	15,0	3,95
99	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	20,0	3,95
100	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	25,0	3,95
101	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Platte	30,0	3,95
102	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Zylinder	entfällt	3,25
103	Stahl (Edelstahl)	1.4305 (X8CrNiS18-9)	1.4305 (X8CrNiS18-9)	Zylinder	entfällt	2,05
104	Stahl (Edelstahl)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)	Zylinder	entfällt	2,53
105	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	1,0	3,25
106	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	1,5	3,25
107	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	2,0	3,25
108	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	3,0	3,25
109	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	4,0	3,25
110	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	5,0	3,25
111	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	6,0	3,25
112	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	8,0	3,25
113	Stahl (Edelstahl)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4301 (X5CrNi18-10)	Platte	10,0	3,25
114	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Block	entfällt	0,99
115	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Block	entfällt	1,10
116	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	1,3	0,87
117	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	3,0	0,95
118	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	0,8	0,88
119	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	1,0	0,88
120	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	1,5	0,85
121	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	2,0	0,85
122	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	2,5	0,85
123	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	3,0	0,72
124	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	4,0	0,72
125	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	5,0	0,72
126	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	6,0	0,72
127	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	8,0	0,72
128	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	10,0	0,73
129	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	12,0	0,73
130	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	15,0	0,73
131	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	20,0	0,82
132	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	25,0	0,73
133	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	30,0	0,73
134	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	40,0	0,73
135	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	40,0	0,95
136	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	35,0	0,95
137	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	30,0	0,95
138	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	25,0	0,95
139	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	20,0	0,95
140	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	15,0	0,95
141	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	12,0	0,95
142	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	10,0	0,95
143	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	8,0	0,95
144	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	6,0	0,95
145	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	5,0	0,95
146	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	4,0	0,95
147	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	100,0	0,95
148	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	110,0	0,95
149	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	120,0	0,95
150	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	130,0	0,95

151	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	140,0	0,95
152	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	150,0	0,95
153	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	0,5	0,92
154	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Zylinder	entfällt	0,99
155	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Zylinder	entfällt	1,10
156	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	50,0	0,73
157	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	45,0	0,73
158	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	50,0	0,95
159	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	45,0	0,95
160	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	90,0	0,95
161	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	80,0	0,95
162	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	70,0	0,95
163	Stahl (Baustahl)	1.0045 (S355JR)	1.0045 (S355JR)	Platte	60,0	0,95
164	Stahl (Baustahl)	1.0037 (S235JR)	1.0037 (S235JR)	Platte	35,0	0,73
165	Stahl (unlegiert)	1.0503 (C45)	1.0503 (C45)	Block	entfällt	1,47
166	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Block	entfällt	4,82
167	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	80,0	4,52
168	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	8,0	4,68
169	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	10,0	4,68
170	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	12,0	4,68
171	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	15,0	4,68
172	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	20,0	4,68
173	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	25,0	4,68
174	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	30,0	4,68
175	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	90,0	4,52
176	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	100,0	4,52
177	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	110,0	4,52
178	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	120,0	4,52
179	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	35,0	4,68
180	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Zylinder	entfällt	4,82
181	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	60,0	4,47
182	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	40,0	4,68
183	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	45,0	4,47
184	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	70,0	4,52
185	Stahl (unlegiert)	1.7225 (42CrMo4)	1.7225 (42CrMo4)	Platte	50,0	4,47
186	Stahl (unlegiert)	1.0503 (C45)	1.0503 (C45)	Zylinder	entfällt	1,39
187	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Block	entfällt	2,90
188	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	2,0	2,70
189	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	4,0	2,80
190	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	5,0	2,69
191	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	6,0	2,70
192	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	8,0	2,70
193	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	10,0	2,70
194	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	15,0	2,70
195	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	20,0	2,70
196	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	30,0	2,50
197	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	50,0	2,50
198	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	60,0	2,50
199	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	70,0	2,50
200	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	80,0	2,50
201	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	35,0	2,50
202	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	3,2	2,72
203	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	40,0	2,50
204	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	25,0	2,70
205	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	45,0	2,50
206	Verschleißfester Stahl	Hardox450	Hardox450	Platte	12,0	2,70

Tabelle: Hauptmaterialstamm der Spanenden Bearbeitung

A-5.3 Datenstamm für Bearbeitungsprozesse des Autogen- und Plasmabrennschnitts

Schneidverfahren	Material	Materialstärke [mm]	Stromdurchsatz [Ampere]	Gasgemisch	Schnittgeschwindigkeit m/min	Zeit pro Schnittlänge sek/mm	Kosten/mm [EUR/mm]
Plasmaschneiden	S235JR	3	80	O2 / Luft	1.900	0,03	0,0005
Plasmaschneiden	S235JR	4	80	O2 / Luft	2.300	0,03	0,0004
Plasmaschneiden	S235JR	5	80	O2 / Luft	2.100	0,03	0,0005
Plasmaschneiden	S235JR	6	130	O2 / Luft	2.000	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S235JR	8	130	O2 / Luft	1.950	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S235JR	10	130	O2 / Luft	1.900	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S235JR	12	130	O2 / Luft	1.700	0,04	0,0004
Plasmaschneiden	S235JR	15	260	O2 / Luft	1.300	0,05	0,0004
Plasmaschneiden	S235JR	20	260	O2 / Luft	1.600	0,04	0,0005
Plasmaschneiden	S235JR	25	260	O2 / Luft	1.500	0,04	0,0007
Plasmaschneiden	S235JR	30	130	O2 / Luft	1.300	0,05	0,0010
Autogenschneiden	S235JR	35	130	O2 / Luft	900	0,07	0,0013
Autogenschneiden	S235JR	40	130	O2 / Luft	700	0,09	0,0026
Autogenschneiden	S235JR	45	130	O2 / Luft	340	0,18	0,0028
Autogenschneiden	S235JR	50	130	O2 / Luft	300	0,20	0,0029
Autogenschneiden	S235JR	60	130	O2 / Luft	300	0,20	0,0030
Plasmaschneiden	S355JR	3	80	O2 / Luft	1.900	0,03	0,0005
Plasmaschneiden	S355JR	4	80	O2 / Luft	2.300	0,03	0,0004
Plasmaschneiden	S355JR	5	80	O2 / Luft	2.100	0,03	0,0005
Plasmaschneiden	S355JR	6	130	O2 / Luft	2.000	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S355JR	8	130	O2 / Luft	1.950	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S355JR	10	130	O2 / Luft	1.900	0,03	0,0003
Plasmaschneiden	S355JR	12	130	O2 / Luft	1.700	0,04	0,0004
Plasmaschneiden	S355JR	15	260	O2 / Luft	1.300	0,05	0,0004
Plasmaschneiden	S355JR	20	260	O2 / Luft	1.600	0,04	0,0005
Plasmaschneiden	S355JR	25	260	O2 / Luft	1.500	0,04	0,0007
Autogenschneiden	S355JR	30	130	O2 / Luft	1.300	0,05	0,0010
Autogenschneiden	S355JR	35	130	O2 / Luft	900	0,07	0,0013
Autogenschneiden	S355JR	40	130	O2 / Luft	700	0,09	0,0026
Autogenschneiden	S355JR	45	130	O2 / Luft	340	0,18	0,0028
Autogenschneiden	S355JR	50	130	O2 / Luft	300	0,20	0,0029
Autogenschneiden	S355JR	60	130	O2 / Luft	300	0,20	0,0030
Autogenschneiden	S355JR	70	130	O2 / Luft	290	0,21	0,0033
Autogenschneiden	S355JR	80	130	O2 / Luft	260	0,23	0,0034
Autogenschneiden	S355JR	90	130	O2 / Luft	250	0,24	0,0036
Autogenschneiden	S355JR	100	130	O2 / Luft	240	0,25	0,0038
Autogenschneiden	S355JR	110	130	O2 / Luft	230	0,26	0,0043
Autogenschneiden	S355JR	120	130	O2 / Luft	220	0,27	0,0058
Autogenschneiden	S355JR	130	130	O2 / Luft	210	0,29	0,0067
Autogenschneiden	S355JR	140	130	O2 / Luft	210	0,29	0,0078
Autogenschneiden	S355JR	150	130	O2 / Luft	200	0,30	0,0081

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Baustahl (S235JR, S355JR)

A-5.4 Datenstamm für Bearbeitungsprozesse der Spanenden Bearbeitung (Bohren / Fräsen)

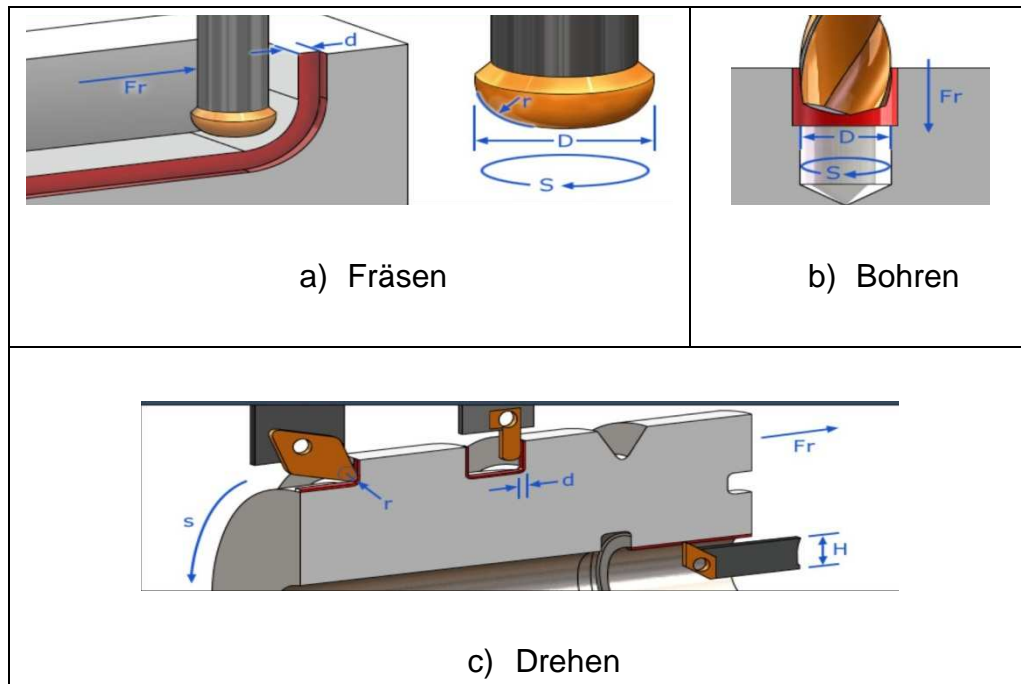


Tabelle: Bearbeitungsvarianten der spanenden Fertigung

a) Prozessanalyse Fräsen / Bohren

Berechnungsformeln "Bohren / Fräsen":		
$S = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$	...	Schnittgeschwindigkeit
$n = \frac{S \cdot 1000}{D \cdot \pi}$	...	Spindeldrehzahl
$v_f = f_r \cdot n$	...	Vorschubgeschwindigkeit
$f_r = \frac{v_f}{n}$	...	Vorschub je Umdrehung
$A = \frac{D \cdot f_r}{2}$	...	Spanungsquerschnitt
$ZSV = S \cdot f_r \cdot D$	...	Zeitspanvolumen

Legende:

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
D ...	Werkzeugdurchmesser	mm
f_r ...	Vorschub je Umdrehung	mm/U
S ...	Schnittgeschwindigkeit	m/min
n ...	Spindeldrehzahl	U/min
v_f ...	Vorschubgeschwindigkeit	mm/min
A ...	Spanungsquerschnitt	mm ²
ZSV ...	Zeitspanvolumen	cm ³ /min

Tabelle: Berechnungsformeln Bohren / Fräsen

Fertigungsverfahren	Werkzeugtyp	D [mm]	v_f [mm/min]	n [U/min]	f_r [mm/U]	S [m/min]	ZSV [cm ³ /min]
Fräsen	Bohrwerkzeug	16,50	96	965	0,10	50	83
Fräsen	Bohrwerkzeug	19,00	84	838	0,10	50	95
Fräsen	Bohrwerkzeug	24,00	66	663	0,10	50	120
Fräsen	Bohrwerkzeug	30,00	53	531	0,10	50	150
Fräsen	Bohrwerkzeug	39,00	41	408	0,10	50	195
Fräsen	Hartmetallbohrer	4,20	910	6.442	0,12	85	43
Fräsen	Hartmetallbohrer	5,00	890	5.411	0,14	85	60
Fräsen	Hartmetallbohrer	6,80	840	3.979	0,18	85	104
Fräsen	Hartmetallbohrer	8,50	790	3.370	0,21	90	161
Fräsen	Hartmetallbohrer	10,20	760	2.809	0,25	90	230
Fräsen	Hartmetallbohrer	14,00	740	2.046	0,32	90	403
Fräsen	HSS-Bohrer blank	0,50	265	9.549	0,06	15	0
Fräsen	HSS-Bohrer blank	1,00	265	4.775	0,06	15	1
Fräsen	HSS-Bohrer blank	1,50	265	3.183	0,06	15	1
Fräsen	HSS-Bohrer blank	2,00	265	3.183	0,07	20	3
Fräsen	HSS-Bohrer blank	2,50	265	2.546	0,08	20	4
Fräsen	HSS-Bohrer blank	3,00	265	2.653	0,10	25	8
Fräsen	HSS-Bohrer blank	3,50	265	2.274	0,12	25	11
Fräsen	HSS-Bohrer blank	4,00	260	1.989	0,13	25	13
Fräsen	HSS-Bohrer blank	4,20	254	1.895	0,13	25	14
Fräsen	HSS-Bohrer blank	4,50	250	1.768	0,14	25	16
Fräsen	HSS-Bohrer blank	5,00	244	1.592	0,15	25	19
Fräsen	HSS-Bohrer blank	5,50	240	1.447	0,17	25	23
Fräsen	HSS-Bohrer blank	6,00	236	1.326	0,18	25	27
Fräsen	HSS-Bohrer blank	6,50	229	1.224	0,19	25	31
Fräsen	HSS-Bohrer blank	6,80	226	1.170	0,19	25	32
Fräsen	HSS-Bohrer blank	7,00	222	1.137	0,19	25	33
Fräsen	HSS-Bohrer blank	7,50	220	1.061	0,20	25	38
Fräsen	HSS-Bohrer blank	8,00	216	995	0,22	25	44
Fräsen	HSS-Bohrer blank	8,50	213	936	0,23	25	49
Fräsen	HSS-Bohrer blank	9,00	207	884	0,24	25	54
Fräsen	HSS-Bohrer blank	9,50	205	838	0,24	25	57
Fräsen	HSS-Bohrer blank	10,00	201	796	0,25	25	63
Fräsen	HSS-Bohrer blank	10,20	200	780	0,25	25	64
Fräsen	HSS-Bohrer blank	10,50	198	758	0,26	25	68
Fräsen	HSS-Bohrer blank	11,00	195	723	0,27	25	74
Fräsen	HSS-Bohrer blank	11,50	193	692	0,28	25	81
Fräsen	HSS-Bohrer blank	12,00	191	663	0,29	25	87
Fräsen	HSS-Bohrer blank	12,50	189	637	0,30	25	94
Fräsen	HSS-Bohrer blank	13,00	187	612	0,31	25	101
Fräsen	HSS-Bohrer blank	13,50	186	589	0,31	25	105
Fräsen	HSS-Bohrer blank	14,00	185	568	0,32	25	112
Fräsen	HSS-Bohrer blank	15,00	181	531	0,34	25	128
Fräsen	HSS-Bohrer blank	16,00	178	497	0,36	25	144
Fräsen	HSS-Bohrer blank	17,00	174	468	0,37	25	157
Fräsen	HSS-Bohrer blank	18,00	169	442	0,38	25	171
Fräsen	HSS-Bohrer blank	19,00	169	419	0,40	25	190
Fräsen	HSS-Bohrer blank	20,00	168	398	0,42	25	210
Fräsen	HSS-Bohrer blank	21,00	165	379	0,43	25	226
Fräsen	HSS-Bohrer blank	22,00	163	362	0,45	25	248
Fräsen	HSS-Bohrer blank	23,00	161	346	0,46	25	265
Fräsen	HSS-Bohrer blank	24,00	159	332	0,48	25	288
Fräsen	HSS-Bohrer blank	25,00	159	318	0,50	25	313
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	3,00	907	1.910	0,48	18	26
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	4,00	951	1.432	0,67	18	48
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	5,00	874	1.146	0,76	18	68
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	6,00	903	955	0,95	18	103
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	8,00	855	716	1,19	18	171
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	10,00	812	573	1,43	18	257
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	12,00	798	477	1,66	18	359
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	14,00	779	409	1,90	18	479
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	16,00	684	358	1,90	18	547
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	20,00	689	286	2,38	18	857
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	24,00	682	239	2,85	18	1231
Fräsen	Gewindeschneidwerkzeug	30,00	637	191	3,33	18	1798
Bohren	Hartmetallbohrer	4,20	910	7.579	0,12	100	50
Bohren	Hartmetallbohrer	5,00	890	6.366	0,14	100	70
Bohren	Hartmetallbohrer	6,80	840	4.681	0,18	100	122
Bohren	Hartmetallbohrer	8,50	790	3.745	0,21	100	179
Bohren	Hartmetallbohrer	10,20	760	3.121	0,25	100	255
Bohren	Hartmetallbohrer	14,00	740	2.274	0,32	100	448
Bohren	HSS-Bohrer blank	0,50	265	15.915	0,06	25	1
Bohren	HSS-Bohrer blank	1,00	265	7.958	0,06	25	2
Bohren	HSS-Bohrer blank	1,50	265	5.305	0,06	25	2
Bohren	HSS-Bohrer blank	2,00	265	3.979	0,07	25	4
Bohren	HSS-Bohrer blank	2,50	265	3.183	0,08	25	5
Bohren	HSS-Bohrer blank	3,00	265	2.653	0,10	25	8
Bohren	HSS-Bohrer blank	3,50	265	2.274	0,12	25	11
Bohren	HSS-Bohrer blank	4,00	260	1.989	0,13	25	13
Bohren	HSS-Bohrer blank	4,20	254	1.895	0,13	25	14
Bohren	HSS-Bohrer blank	4,50	250	1.768	0,14	25	16
Bohren	HSS-Bohrer blank	5,00	244	1.592	0,15	25	19
Bohren	HSS-Bohrer blank	5,50	240	1.447	0,17	25	23
Bohren	HSS-Bohrer blank	6,00	236	1.326	0,18	25	27
Bohren	HSS-Bohrer blank	6,50	229	1.224	0,19	25	31
Bohren	HSS-Bohrer blank	6,80	226	1.170	0,19	25	32
Bohren	HSS-Bohrer blank	7,00	222	1.137	0,19	25	33
Bohren	HSS-Bohrer blank	7,50	220	1.061	0,20	25	38
Bohren	HSS-Bohrer blank	8,00	216	995	0,22	25	44
Bohren	HSS-Bohrer blank	8,50	213	936	0,23	25	49

Bohren	HSS-Bohrer blank	9,00	207	884	0,24	25	54
Bohren	HSS-Bohrer blank	9,50	205	838	0,24	25	57
Bohren	HSS-Bohrer blank	10,00	201	796	0,25	25	63
Bohren	HSS-Bohrer blank	10,20	200	780	0,25	25	64
Bohren	HSS-Bohrer blank	10,50	198	758	0,26	25	68
Bohren	HSS-Bohrer blank	11,00	195	723	0,27	25	74
Bohren	HSS-Bohrer blank	11,50	193	692	0,28	25	81
Bohren	HSS-Bohrer blank	12,00	191	663	0,29	25	87
Bohren	HSS-Bohrer blank	12,50	189	637	0,30	25	94
Bohren	HSS-Bohrer blank	13,00	187	612	0,31	25	101
Bohren	HSS-Bohrer blank	13,50	186	589	0,31	25	105
Bohren	HSS-Bohrer blank	14,00	185	568	0,32	25	112
Bohren	HSS-Bohrer blank	15,00	181	531	0,34	25	128
Bohren	HSS-Bohrer blank	16,00	178	497	0,36	25	144
Bohren	HSS-Bohrer blank	17,00	174	468	0,37	25	157
Bohren	HSS-Bohrer blank	18,00	169	442	0,38	25	171
Bohren	HSS-Bohrer blank	19,00	169	419	0,40	25	190
Bohren	HSS-Bohrer blank	20,00	168	398	0,42	25	210
Bohren	HSS-Bohrer blank	21,00	165	379	0,43	25	226
Bohren	HSS-Bohrer blank	22,00	163	362	0,45	25	248
Bohren	HSS-Bohrer blank	23,00	161	346	0,46	25	265
Bohren	HSS-Bohrer blank	24,00	159	332	0,48	25	288
Bohren	HSS-Bohrer blank	25,00	159	318	0,50	25	313
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	3,00	907	1.910	0,48	18	26
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	4,00	951	1.432	0,67	18	48
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	5,00	874	1.146	0,76	18	68
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	6,00	903	955	0,95	18	103
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	8,00	855	716	1,19	18	171
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	10,00	812	573	1,43	18	257
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	12,00	798	477	1,66	18	359
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	14,00	779	409	1,90	18	479
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	16,00	684	358	1,90	18	547
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	20,00	689	286	2,38	18	857
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	24,00	682	239	2,85	18	1231
Bohren	Gewindeschneidwerkzeug	30,00	637	191	3,33	18	1798
Bohren	Bohrwerkzeug	16,50	96	965	0,10	50	83
Bohren	Bohrwerkzeug	19,00	84	838	0,10	50	95
Bohren	Bohrwerkzeug	24,00	66	663	0,10	50	120
Bohren	Bohrwerkzeug	30,00	53	531	0,10	50	150
Bohren	Bohrwerkzeug	39,00	41	408	0,10	50	195

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Baustahl (S235JR, S355JR)

A-5.5 Datenstamm für Bearbeitungsprozess – Spanende Bearbeitung (Fräsen)

Berechnungsformeln:

$$S = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad \dots \text{Schnittgeschwindigkeit}$$

$$n = \frac{S \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad \dots \text{Drehzahl}$$

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \quad \dots \text{Vorschubgeschwindigkeit}$$

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \quad \dots \text{Vorschub je Zahn (Schneide)}$$

$$f_r = f_z \cdot z \quad \dots \text{Vorschub je Umdrehung}$$

$$\text{ZSV} = S \cdot f_r \cdot d \quad \dots \text{Zeitspanvolumen}$$

Legende:

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
D ...	Werkzeugdurchmesser	mm
f_r ...	Vorschub je Umdrehung	mm/U
f_z ...	Vorschub je Zahn	mm/z
n ...	Drehzahl	U/min
S ...	Schnittgeschwindigkeit	m/min
v_f ...	Vorschubgeschwindigkeit	mm/min
z ...	Zähnezahl (Anz. Schneiden)	
d ...	Tiefe des Schnitts	mm
r ...	Werkzeugradius	mm
ZSV ...	Zeitspanvolumen	cm ³ /min

Tabelle: Berechnungsformeln Fräsen

Werkzeugtyp	Beschaffenheit Oberfläche	D [mm]	f_r [mm/U]	f_z [mm/Z]	n [U/min]	S [m/min]	d [mm]	r [mm]	z	v_f [mm/min]	ZSV [cm ³ /min]
Schaftfräser	Schruppen	3	0,051	0,017	7.958	75	0,25	0,10	3	406	0,96
Schaftfräser	Schruppen	4	0,075	0,025	5.958	75	0,50	0,10	3	448	2,81
Schaftfräser	Schruppen	5	0,093	0,031	4.775	75	1,00	0,10	3	444	6,98
Schaftfräser	Schruppen	6	0,141	0,047	3.979	75	1,00	0,20	3	561	10,58
Schaftfräser	Schruppen	8	0,156	0,039	9.350	235	2,00	0,20	4	1459	73,32
Schaftfräser	Schruppen	10	0,212	0,053	7.480	235	2,00	0,20	4	1586	99,64
Schaftfräser	Schruppen	12	0,260	0,065	6.234	235	2,00	0,30	4	1621	122,20
Schaftfräser	Schruppen	15	0,360	0,090	4.987	235	2,50	0,30	4	1795	211,50
Schaftfräser	Schruppen	16	0,380	0,095	4.675	235	2,50	0,30	4	1777	223,25
Torusfräser	Schruppen	3	0,036	0,009	13.793	130	0,50	1,50	4	497	2,34
Torusfräser	Schruppen	4	0,048	0,012	10.345	130	0,50	2,00	4	497	3,12
Torusfräser	Schruppen	5	0,060	0,015	8.276	130	1,00	2,50	4	497	7,80
Torusfräser	Schruppen	6	0,072	0,018	6.897	130	1,00	3,00	4	497	9,36
Torusfräser	Schruppen	8	0,096	0,024	5.173	130	1,50	4,00	4	497	18,72
Torusfräser	Schruppen	10	0,120	0,030	4.138	130	2,00	5,00	4	497	31,20
Torusfräser	Schruppen	12	0,144	0,036	3.448	130	2,50	6,00	4	497	46,80
Planfräser	Schruppen	50	0,420	0,070	1.401	220	3,00	0,40	6	588	277,20
Fasenfräser	Schruppen	12	0,280	0,070	3.448	130	1,50	0,20	4	966	54,60
Fasenfräser	Schruppen	16	0,280	0,070	2.586	130	2,00	0,40	4	724	72,80
Fasenfräser	Schruppen	32	0,280	0,070	1.293	130	3,00	0,40	4	362	109,20
Schaftfräser	Schlichten	3	0,240	0,080	16.976	160	0,30	0,10	3	4074	11,52
Schaftfräser	Schlichten	4	0,240	0,080	12.732	160	0,30	0,10	3	3056	11,52
Schaftfräser	Schlichten	5	0,240	0,080	10.186	160	0,30	0,10	3	2445	11,52
Schaftfräser	Schlichten	6	0,240	0,080	8.488	160	0,40	0,20	3	2037	15,36
Schaftfräser	Schlichten	8	0,320	0,080	7.361	185	0,40	0,20	4	2355	23,68
Schaftfräser	Schlichten	10	0,320	0,080	5.889	185	1,00	0,20	4	1884	59,20
Schaftfräser	Schlichten	12	0,320	0,080	4.907	185	1,00	0,30	4	1570	59,20
Schaftfräser	Schlichten	15	0,320	0,080	3.926	185	1,00	0,30	4	1256	59,20
Schaftfräser	Schlichten	16	0,320	0,080	3.680	185	1,00	0,30	4	1178	59,20
Torusfräser	Schlichten	3	0,036	0,009	13.793	130	1,00	1,50	4	497	4,68
Torusfräser	Schlichten	4	0,048	0,012	10.345	130	1,00	2,00	4	497	6,24
Torusfräser	Schlichten	5	0,060	0,015	8.276	130	1,00	2,50	4	497	7,80
Torusfräser	Schlichten	6	0,072	0,018	6.897	130	1,00	3,00	4	497	9,36
Torusfräser	Schlichten	8	0,096	0,024	5.173	130	1,00	4,00	4	497	12,48
Torusfräser	Schlichten	10	0,120	0,030	4.138	130	1,00	5,00	4	497	15,60
Torusfräser	Schlichten	12	0,144	0,036	3.448	130	1,00	6,00	4	497	18,72
Planfräser	Schlichten	50	0,480	0,080	1.019	160	1,00	0,40	6	489	76,80

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Baustahl (S235JR, S355JR)

Werkzeugtyp	Beschaffenheit Oberfläche	D [mm]	f_t [mm/U]	f_z [mm/Z]	n [U/min]	S [m/min]	d [mm]	r [mm]	z	v_f [mm/min]	ZSV [cm ³ /min]
Schafffräser	Schruppen	3	0,051	0,017	5.093	48	0,25	0,10	3	260	0,61
Schafffräser	Schruppen	4	0,075	0,025	3.820	48	0,50	0,10	3	286	1,80
Schafffräser	Schruppen	5	0,093	0,031	3.056	48	1,00	0,10	3	284	4,46
Schafffräser	Schruppen	6	0,141	0,047	2.546	48	1,00	0,20	3	359	6,77
Schafffräser	Schruppen	8	0,132	0,033	7.361	185	1,50	0,20	4	972	36,63
Schafffräser	Schruppen	10	0,188	0,047	5.889	185	2,00	0,20	4	1107	69,56
Schafffräser	Schruppen	12	0,236	0,059	4.907	185	2,00	0,30	4	1158	87,32
Schafffräser	Schruppen	15	0,324	0,081	3.926	185	2,50	0,30	4	1272	149,85
Schafffräser	Schruppen	16	0,352	0,088	3.690	185	2,50	0,30	4	1296	162,80
Torusfräser	Schruppen	3	0,036	0,009	10.610	100	0,50	1,50	4	382	1,80
Torusfräser	Schruppen	4	0,048	0,012	7.958	100	0,50	2,00	4	382	2,40
Torusfräser	Schruppen	5	0,060	0,015	6.366	100	1,00	2,50	4	382	6,00
Torusfräser	Schruppen	6	0,072	0,018	5.305	100	1,00	3,00	4	382	7,20
Torusfräser	Schruppen	8	0,096	0,024	3.979	100	1,50	4,00	4	382	14,40
Torusfräser	Schruppen	10	0,120	0,030	3.183	100	2,00	5,00	4	382	24,00
Torusfräser	Schruppen	12	0,144	0,036	2.653	100	2,50	6,00	4	382	36,00
Planfräser	Schruppen	50	0,600	0,100	1.210	190	3,00	0,40	6	726	342,00
Fasenfräser	Schruppen	12	0,280	0,070	2.387	90	1,50	0,20	4	668	37,80
Fasenfräser	Schruppen	16	0,280	0,070	1.790	90	2,00	0,40	4	501	50,40
Fasenfräser	Schruppen	32	0,280	0,070	895	90	3,00	0,40	4	251	75,60
Schafffräser	Schlichten	3	0,240	0,080	10.610	100	0,30	0,10	3	2546	7,20
Schafffräser	Schlichten	4	0,240	0,080	7.958	100	0,30	0,10	3	1910	7,20
Schafffräser	Schlichten	5	0,240	0,080	6.366	100	0,30	0,10	3	1528	7,20
Schafffräser	Schlichten	6	0,240	0,080	5.305	100	0,40	0,20	3	1273	9,60
Schafffräser	Schlichten	8	0,320	0,080	3.979	100	0,40	0,20	4	1273	12,80
Schafffräser	Schlichten	10	0,320	0,080	3.183	100	1,00	0,20	4	1019	32,00
Schafffräser	Schlichten	12	0,320	0,080	2.653	100	1,00	0,30	4	849	32,00
Schafffräser	Schlichten	15	0,320	0,080	2.122	100	1,00	0,30	4	679	32,00
Schafffräser	Schlichten	16	0,320	0,080	1.989	100	1,00	0,30	4	637	32,00
Torusfräser	Schlichten	3	0,036	0,009	10.610	100	1,00	1,50	4	382	3,60
Torusfräser	Schlichten	4	0,048	0,012	7.958	100	1,00	2,00	4	382	4,80
Torusfräser	Schlichten	5	0,060	0,015	6.366	100	1,00	2,50	4	382	6,00
Torusfräser	Schlichten	6	0,072	0,018	5.305	100	1,00	3,00	4	382	7,20
Torusfräser	Schlichten	8	0,096	0,024	3.979	100	1,00	4,00	4	382	9,60
Torusfräser	Schlichten	10	0,120	0,030	3.183	100	1,00	5,00	4	382	12,00
Torusfräser	Schlichten	12	0,144	0,036	2.653	100	1,00	6,00	4	382	14,40

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Vergütungsstahl (42CrMo4, C45) und legierten Vergütungsstahl (16MnCr5)

A-5.6 Datenstamm für Bearbeitungsprozess – Spanende Bearbeitung (Drehen)

Berechnungsformeln:	
$S = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$	... Schnittgeschwindigkeit
$n = \frac{S \cdot 1000}{d \cdot \pi}$	... Drehzahl
$f_r = f_z \cdot z$	... Vorschub pro Umdrehung
$ZSV_D = (d \cdot S \cdot f_r)$	... Zeitspanvolumen AD/ID Drehen
$ZSV_K = (S \cdot f_r \cdot H)/2$	... Zeitspanvolumen Auskehlung
$ZSV_P = (d \cdot S \cdot f_r)$	... Zeitspanvolumen Plandrehen

Legende:

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
H ...	Schnittbreite	mm
f_r ...	Vorschub pro Umdrehung	mm/U
ZSV ...	Zeitspanvolumen	cm ³ /min
S ...	Schnittgeschwindigkeit	m/min
d ...	radiale Schnitttiefe	mm
r ...	Werkzeugnasenradius	mm

Tabelle: Berechnungsformeln Drehen

Werkzeugtyp	Beschaffenheit Oberfläche	H [mm]	f _r [mm/U]	S [m/min]	d [mm]	r [mm]	ZSV _D [cm ³ /min]	ZSV _K [cm ³ /min]	ZSV _P [cm ³ /min]
AD-Drehen	Schruppen	0,75	0,800	105	5,00	0,80	420,00	56,00	420,00
ID-Drehen	Schruppen	0,75	0,800	105	2,00	0,80	168,00	56,00	168,00
Plandrehen	Schruppen	0,75	0,800	150	6,00	0,80	720,00	80,00	720,00
AD-Kehlung	Schruppen	0,75	0,200	125	4,00	0,80	100,00	16,67	100,00
ID-Kehlung	Schruppen	0,75	0,400	125	2,00	0,80	100,00	33,33	100,00
Flächenkehlung	Schruppen	0,75	0,400	125	3,00	0,80	150,00	33,33	150,00
AD-Drehen	Schlichten	0,75	0,200	135	0,25	0,40	6,75	18,00	6,75
ID-Drehen	Schlichten	0,75	0,200	135	0,25	0,40	6,75	18,00	6,75
Plandrehen	Schlichten	0,75	0,500	150	1,00	1,20	75,00	50,00	75,00
AD-Kehlung	Schlichten	0,75	0,200	125	0,50	0,40	12,50	16,67	12,50
ID-Kehlung	Schlichten	0,75	0,300	125	1,00	0,40	37,50	25,00	37,50
Flächenkehlung	Schlichten	0,75	0,300	125	0,50	0,80	18,75	25,00	18,75
AD-Drehen	Vorbearbeitung	0,75	0,400	105	6,00	0,80	252,00	28,00	252,00
ID-Drehen	Vorbearbeitung	0,75	0,400	105	3,00	0,40	126,00	28,00	126,00
Plandrehen	Vorbearbeitung	0,75	0,800	150	6,00	0,80	720,00	80,00	720,00
AD-Kehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,200	125	2,00	0,05	50,00	16,67	50,00
ID-Kehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,350	125	6,00	0,04	262,50	29,17	262,50
Flächenkehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,350	125	2,00	0,04	87,50	29,17	87,50

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Baustahl (S235JR, S355JR)

AD-Drehen	Schruppen	0,75	0,800	110	5,00	0,80	440,00	58,67	440,00
ID-Drehen	Schruppen	0,75	0,800	105	2,00	0,80	168,00	56,00	168,00
Plandrehen	Schruppen	0,75	0,800	140	5,00	0,80	560,00	74,67	560,00
AD-Kehlung	Schruppen	0,75	0,200	130	4,00	0,80	104,00	17,33	104,00
ID-Kehlung	Schruppen	0,75	0,350	115	2,00	0,80	80,50	26,83	80,50
Flächenkehlung	Schruppen	0,75	0,350	130	3,00	0,80	136,50	30,33	136,50
AD-Drehen	Schlichten	0,75	0,150	135	0,25	0,40	5,06	13,50	5,06
ID-Drehen	Schlichten	0,75	0,150	135	0,25	0,40	5,06	13,50	5,06
Plandrehen	Schlichten	0,75	0,500	140	1,00	1,20	70,00	46,67	70,00
AD-Kehlung	Schlichten	0,75	0,200	130	0,50	0,40	13,00	17,33	13,00
ID-Kehlung	Schlichten	0,75	0,250	115	1,00	0,40	28,75	19,17	28,75
Flächenkehlung	Schlichten	0,75	0,250	130	0,50	0,80	16,25	21,67	16,25
AD-Drehen	Vorbearbeitung	0,75	0,350	110	6,00	0,40	231,00	25,67	231,00
ID-Drehen	Vorbearbeitung	0,75	0,350	105	3,00	0,40	110,25	24,50	110,25
Plandrehen	Vorbearbeitung	0,75	0,800	140	6,00	0,80	672,00	74,67	672,00
AD-Kehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,200	130	2,00	0,05	52,00	17,33	52,00
ID-Kehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,300	115	6,00	0,04	207,00	23,00	207,00
Flächenkehlung	Vorbearbeitung	0,75	0,300	130	2,00	0,04	78,00	26,00	78,00

Tabelle: Leistungsdaten für unlegierten Vergütungsstahl (42CrMo4, C45) und legierten Vergütungsstahl (16MnCr5)

A-6 Kostenmanagement

Der Maschinenpark setzt sich einschließlich der Verrechnungssätze mit Berücksichtigung des Maschinenarbeitsgrades wie folgt zusammen:

	Quaser MV204CP	Gildemeister CTX500E	Messer MultiTherm 4000	Amada HFE 220-4
Fräsen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drehen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bohren	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schneiden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biegen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maschinen- kosten	22,50	22,50	20,00	25,00
FLK [EUR/h]	22,50	22,50	22,50	22,50

Tabelle: Übersicht der Maschinen mit hohem Maschinenarbeitsgrad

	Profil- säge	Bohr- station	Tafel- schere	Einroll- maschine	MAG- Schweiß- Apparat
Bohren	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gewindebohren	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einrollen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schneiden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sägen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schweißen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Maschinen- kosten [EUR/h]	5,00	5,00	5,00	5,00	7,00
Arbeitskosten [EUR/h]	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50

Tabelle: Übersicht der Maschinen und Apparate mit niedrigem Maschinenarbeitsgrad

A-6.1 Kostenstelle Allgemeiner Stahlbau und Blechbearbeitung

▪ Rüstzeiten und Rüstkosten

Maschinen	Sägen	Schneiden	Bohren	Rüstzeit [min]	Rüstkosten [EUR]	Rüstkosten- Verteilung [EUR]
Hydraulische Tafelschere	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15,00	15,00	[aufgeteilt auf Losgröße]
Sägeanlage	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,50	4,50	[pro 6 lfm]
Bohrstation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00	0,50	[pro Teil]

Tabelle: Rüstkostenverteilung der Kostenstelle Allgemeiner Stahlbau

Biegemethode	Rüstzeit [min/Teil]	Rüstkosten	Rüstkosten-Verteilung [EUR]
Kanten	0,50	17,00	[EUR/Charge]
Einrollen	27,00	12,50	[EUR/Teil]

Tabelle: Rüstkostenverteilung der Kostenstelle Blechbearbeitung

▪ Bearbeitungszeiten und Bearbeitungskosten

Nachstehende Tabelle zeigt die Kostenzusammenstellungen in Abhängigkeit der Materialdicke.

Materialklasse	Bezeichnung	Blechstärke [mm]	Biegemethode	Kosten [EUR/Biegung]
Baustahl	S235JR	3	Kanten	2,8
Baustahl	S235JR	4	Kanten	3,0
Baustahl	S235JR	5	Kanten	3,1
Baustahl	S235JR	6	Kanten	3,2
Baustahl	S235JR	8	Kanten	3,6
Baustahl	S235JR	10	Kanten	3,8
Baustahl	S235JR	12	Kanten	4,4
Baustahl	S235JR	15	Kanten	4,6
Baustahl	S235JR	3	Einrollen	10,0
Baustahl	S235JR	4	Einrollen	10,0
Baustahl	S235JR	5	Einrollen	12,5
Baustahl	S235JR	6	Einrollen	12,5
Baustahl	S235JR	8	Einrollen	12,5
Baustahl	S235JR	10	Einrollen	15,0
Baustahl	S235JR	12	Einrollen	17,5
Baustahl	S235JR	15	Einrollen	22,5

Tabelle: Kostenschlüssel für Blechbearbeitungsverfahren

A-6.2 Kostenstelle NC-Trennschnittbearbeitung

▪ Rüstzeiten und Rüstkosten

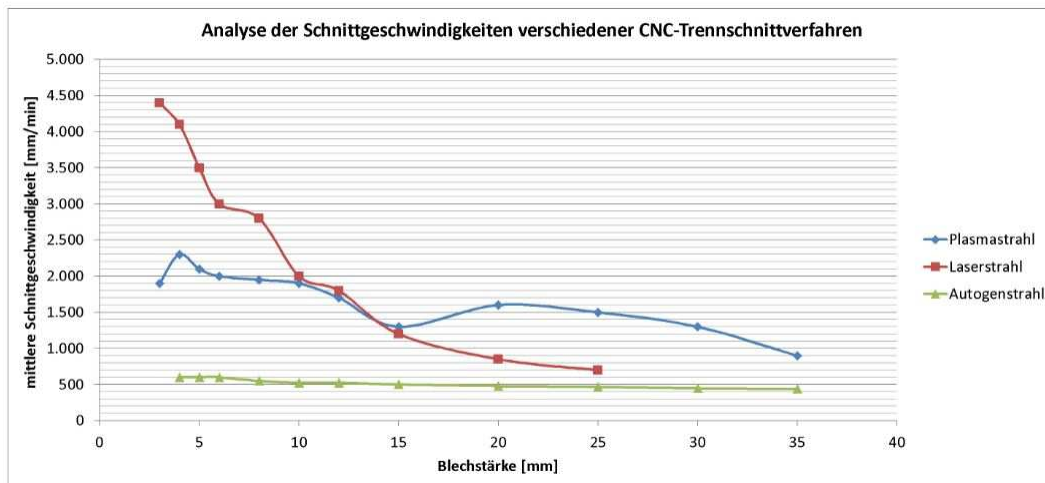
Die Zeitdauer vom Anstoß der Tätigkeiten bis zum Abschluss des Rüstvorganges gelten für Blechformatabmessungen von 3000mm x 1500mm. Im Zeitschlüssel sind Formatabweichungen vernachlässigbar gering und können analog für die stufenweis höhere bzw. niedrigere Formatklasse angewendet werden. In der Untersuchung sind Rüstaktivitäten bezüglich des Be- und Entladens von Gasflaschen bzw. der Austausch von Verschleißmitteln (Brenndüse einschließlich Zubehör) ausgegrenzt, da der Zeitintervall des Auftretens verhältnismäßig weit auseinander liegt.

	Blechstärke [mm] (unabhängig von Werkstoffart)											
	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
Rüstzeit für Laden / Entladen pro Blechtafel [min]	15	15	15	15	19	19	19	22	22	22	25	25
Rüstkosten für das Laden / Entladen pro Blechtafel [EUR]	12	12	12	12	15	15	15	18	18	18	20	20

Tabelle: Rüstkostenverteilung der Kostenstelle Autogen- und Plasmabrennschnitt

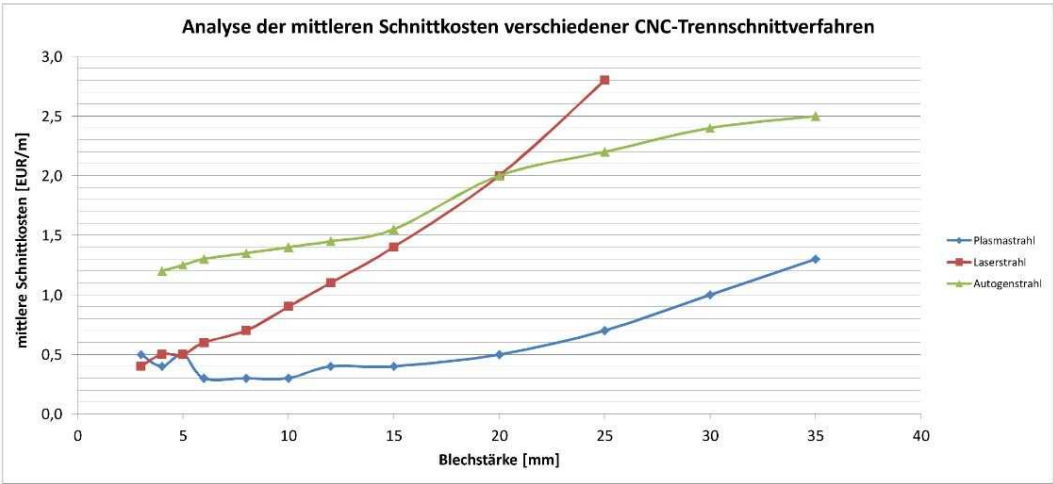
In der Tabelle ist die Zeitdauer verschiedener Blechstärkendimensionen geschlüsselt aneinandergereiht und kann für die Messvorgänge herangezogen werden.

▪ Bearbeitungszeiten und Bearbeitungskosten



mittlere Schnittgeschwindigkeit									Werkstoff: S235JR | S355 JR				
		Blechstärke											
		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
mittlere Schnittgeschwindigkeit [m/min]	Plasmastrahl	1,90	2,30	2,10	2,00	1,95	1,90	1,70	1,30	1,60	1,50	1,30	0,90
	Laserstrahl	4,40	4,10	3,50	3,00	2,80	2,00	1,80	1,20	0,85	0,70	---	---
	Autogenstrahl	---	---	0,60	0,60	0,55	0,53	0,53	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44

Tabelle: mittlere Schnittzeiten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren



Analyse der CNC-Trennschnittverfahren									Werkstoff: S235JR | S355 JR				
		Blechstärke [mm]											
		3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
mittlere Schnittkosten [EUR/m]	Plasmastrahl	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3
	Laserstrahl	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	2,0	2,8		
	Autogenstrahl		1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	2,0	2,2	2,4	2,5

Tabelle: mittlere Schnittkosten verschiedener CNC-Trennschnittverfahren

	Blechstärke [mm]											
	3	4	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35
Plasmastrahl [EUR/Einstich]	0,04	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,12	0,14	0,17	0,20
Laserstrahl [EUR/Einstich]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,11	0,14	0,20	0,25	0,25	---	---
Autogenstrahl [EUR/Einstich]	0,08	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25

Tabelle: Kostenschlüssel für Zündvorgänge (Einstiche) des Brenners

A-6.3 Kostenstelle Spanende Bearbeitung

▪ Rüstzeiten und Rüstkosten

Maschinen	Fräsen	Drehen	Bohren	Maschinen- kosten [EUR/Std.]	Arbeits- kosten [EUR/Std.]	Dauer des Ladens/ Entladens [min]	Rüstzeit des Vorgangs [min]	Rüstkosten [EUR]
Quaser MV204CP	☒	☐	☒	20,00	22,50	1,50	2,00	2,50
Gildemeister CTX500E	☒	☒	☒	20,00	22,50	1,50	2,00	2,50

▪ **Tabelle: Kostenschlüssel und Rüstzeitaufstellung der Kostenstelle Spanende Bearbeitung**

Das Zeit und Kostengerüst umfasst die Lade- und Entladetätigkeiten eines Werkstücks bis 15 kg Rohteilgewicht sowie das Rüsten der Werkzeuge einschließlich anderer Tätigkeitsbereiche.

▪ Bearbeitungszeiten und Bearbeitungskosten

Die Leistungsdaten für die Bearbeitung können in Bezug auf das Zeitspanvolumen der Prozessdatenbank entnommen werden.

Maschine:	Quaser		
Maschinenstunden pro Monat:	140		
Fixe Kosten	pro Monat	Variable Kosten	pro Monat
kalk. Abschreibungen	1.166,67 €	Instandsetzung und Reparatur	200,00 €
kalk. Zinsen	385,00 €	Energie	300,00 €
Instandsetzung und Reparatur	300,00 €	sonstige variable Kosten	100,00 €
Platzkosten	220,00 €		- €
Energie	110,00 €		- €
sonstige fixe Kosten	- €		- €
	- €		- €
	- €		- €
	- €		- €
	- €		- €
Summe	2.181,67 €	Summe	600,00 €
Kosten je Stunde	15,58 €		4,29 €
Maschinenstundensatz:	19,87 €/h		

Tabelle: vereinfachte Ermittlung der Maschinenstundensätze am Beispiel der CNC-Fräsmaschine

A-6.4 Kostenstelle Montage – Schweißen

▪ Rüstzeiten und Rüstkosten

Die Rüstzeit setzt sich aus den Zeiten des Be- und Entladens der Schweißdrahtrolle in das Schweißgerät zusammen. Der Schweißdraht ist definiert als Zusatzmaterial. Der Tausch des Verschleißmaterials ist prozentuell in der Zeitaufstellung eingerechnet.

Maschinen	Schweißen	Dauer des Ladens [min]	Dauer des Entladens [min]	Rüstkosten- Verteilung
MAG- Schweißapparat	☒	10,00	5,00	Einmal/18 kg bzw. 200 m Schweißdrahtrolle

Tabelle: Kostenschlüssel und Rüstzeitaufstellung der Kostenstelle Montage

▪ Bearbeitungszeiten und Bearbeitungskosten

Kehl-naht- dicke a	Schweißnahtfläche A_w $a^2 \rightarrow [\text{mm}^2]$	Schweiß- leistung m/min	Schweiß- zeit pro m [min/m]	Kosten Schweiß- zusatz (0,15 EUR/m) einschließlich Laden und Entladen pro m [EUR/m]	Schweiß- kosten einschließlich Laden, Entladen und Zusatz- material pro m [EUR/m]
3 - 6	$5^2 = 25$	0,500	2	0,40	1,39
7	$7^2 = 49$	0,250	4	0,40	2,37
8	$8^2 = 64$	0,167	6	0,40	3,35
9	$9^2 = 81$	0,125	8	0,40	4,34
10	$10^2 = 100$	0,125	8	0,40	4,34
11	$11^2 = 121$	0,100	10	0,40	5,32
12	$12^2 = 144$	0,083	12	0,40	6,30
13	$13^2 = 169$	0,071	14	0,40	7,29
14	$14^2 = 196$	0,062	16	0,40	8,27
15	$15^2 = 225$	0,055	18	0,40	9,25
16	$16^2 = 256$	0,045	20	0,40	10,24
17	$17^2 = 289$	0,041	24	0,40	12,24
18	$18^2 = 324$	0,038	26	0,40	13,24
19	$19^2 = 361$	0,035	28	0,40	14,24
20	$20^2 = 400$	0,031	32	0,40	16,14
21	$21^2 = 441$	0,028	34	0,40	17,14
22	$22^2 = 484$	0,024	38	0,40	19,14
23	$23^2 = 529$	0,021	40	0,40	20,14
24	$24^2 = 576$	0,018	44	0,40	22,14

Tabelle: Sollwertvorgabe der Schweißprozesskosten

A-6.5 Kostenstelle Oberflächenbehandlung

Oberflächenbehandlungen bezwecken hauptsächlich eine Lebensdauer-
verlängerung des Endproduktes. Die Oberflächenbehandlungsverfahren variieren
stark in ihrer Anwendung, wobei ihre Ausführungsart tendenziell vom Kosten-
faktor bestimmt wird. Weitere Faktoren werden vom Toleranzgrad, von äußeren
Umwelteinflüssen, von Haltbarkeitseigenschaften und vom optischen Erschei-
nungsbild bestimmt.

Verfahren	Bezugsgröße	Kosten	Einheit	Rüstkosten
Lackieren	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	10,00
Pulverbeschichten	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	20,00
Verzinken Teile von 0,1 bis 25 kg	Gewicht	1,2500	EUR/kg	10,00
Verzinken Teile von 25 bis 75 kg	Gewicht	0,9500	EUR/kg	10,00
Verzinken Teile ab 75 kg	Gewicht	0,4500	EUR/kg	10,00
Eloxieren	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	20,00
Brünieren	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	20,00
Polieren	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	5,00
Beizen	Fläche	0,0001	EUR/mm ²	3,00

Tabelle: Kostenschlüssel von Oberflächenbehandlungsverfahren

Alle Rüstkosten werden entsprechend der Charge aufgeteilt.

A-7 Anwenderdokumentation des kennzahlengesteuerten CAD-integrierten Messwerkzeuges

Die Anwenderdokumentation soll das Verständnis für den Umgang mit dem Werkzeug festigen. Sie beinhaltet die Funktionsweise und die Herangehensweise zum richtigen Konstruieren innerhalb der CAD-Schnittstelle, um verhältnismäßig präzise Angaben zu erzeugen.

A-7.1 Funktionsweise des CAD-integrierten Messwerkzeuges

Das Werkzeug bedient sich der Maschinenstundensatzrechnung, das auf Basis der Herstellkalkulationssätze sowie der Material-, Rüst- und Bearbeitungskosten den quantitativen Datengehalt ableitet. Die Herstellkosten für Blech-, Fräs- und Drehteile errechnet das Werkzeug somit durch Addition der Materialeinzelkosten und der Fertigungskosten (Maschinenstundensatzrechnung) deren Informationsbausteine in einer Datenbank hinterlegt sind. Die Methode lässt jedoch die Materialgemeinkosten und die Sondereinzelkosten der Fertigung unberücksichtigt. Diese müssen manuell über Zuschlagssätze (von z.B. 10 % bei Materialgemeinkosten bzw. 0,75 % der Fertigungskosten) hinzugerechnet werden.

Konstruktionsbegleitend werden die Herstellkosten als auch die Zeitstrukturen einzelner Teile berechnet, wenn ihre grundlegenden Merkmale wie Werkstoff, Fertigungsverfahren, Design, Abmessungen, Toleranzen, Oberflächengüte sowie Oberflächenbehandlungen festgelegt wurden. Diese Informationen umfassen alle beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Einzelzeiten und Einzelkosten, die den gesonderten Bearbeitungsflächen und damit den Konstruktionsfeatures – das sind einzelne Objektbeschreibungen bzw. Konstruktionsbefehle zum systematischen Aufbau eines geometrischen Bauteils – zuzurechnen sind. Der höhere Informationsgehalt dreidimensionaler CAD-Modelle ermöglicht ein weitestgehend automatisches Extrahieren der Feature-Eigenschaften aus der CAD-Infrastruktur in empirische Kennwerte.

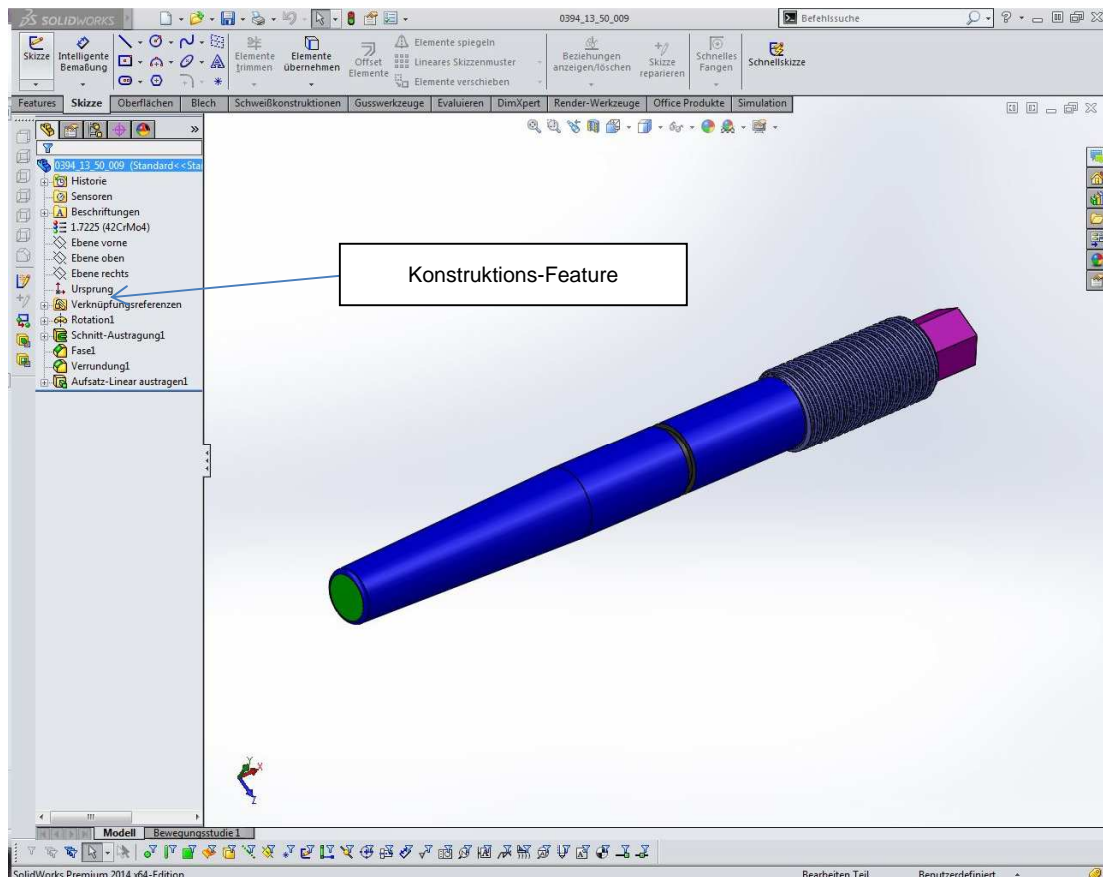


Abbildung: Feature-Eigenschaften innerhalb der Konstruktionsoberfläche am Beispiel der Spreizspindel

Die Ermittlung der Materialkosten erfolgt bei Blechen als auch bei Stahlprofilen (Rund-, Vierkant-, Sechskantstahl, Formrohre, usw.) über das Gewicht und den Materialkostensatz. Aus dem Datenmaterial lässt sich die Materialausbeute, über das Verhältnis vom Rohzustand in den Endzustand, errechnen.

Die Fertigungskosten werden über die Fertigungszeit (Nebenzeit, Rüstzeit, und Bearbeitungszeit) und den entsprechenden kalkulatorischen Maschinenstundensätzen, die Gemeinkostenanteile enthalten, berechnet. Die kommende Abbildung stellt die für den Facharbeiter notwendige Fertigungszeichnung dar, in der die vollständige Bemaßungs- und Toleranzstruktur angegeben wird.

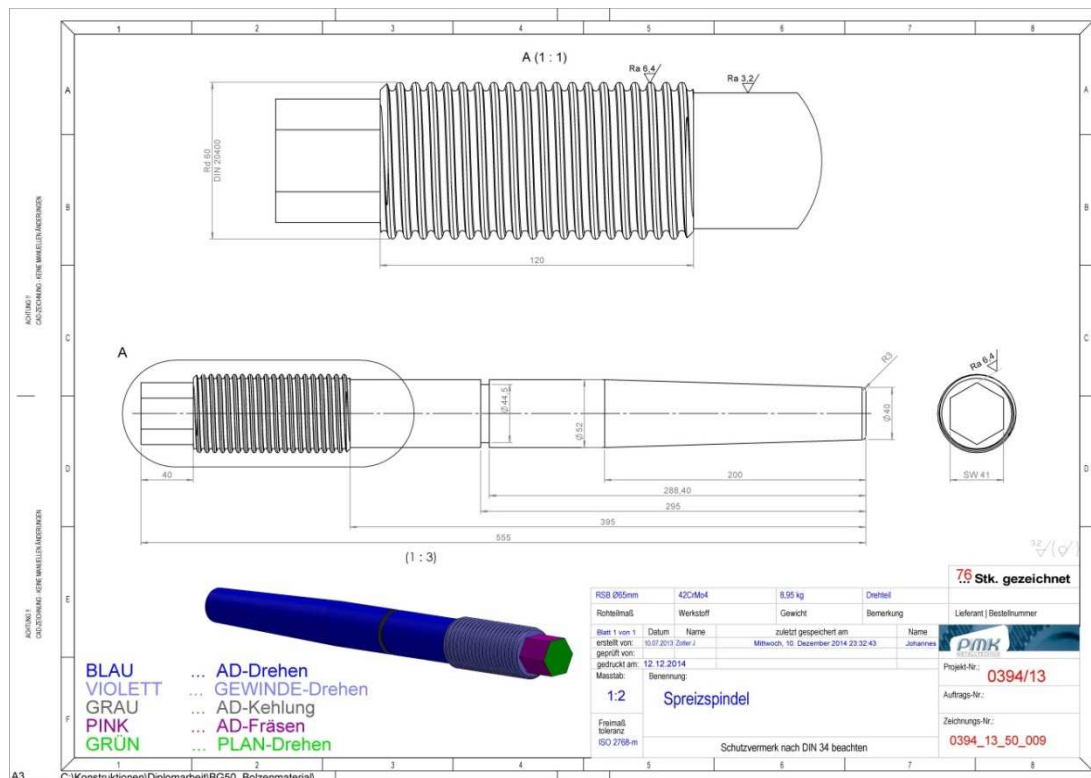


Abbildung: Einzelbauteilzeichnung der Spreizspindel

Am Beispiel der Spreizspindel wird gezeigt, wie die Geometrien der einzelnen Ausprägungszonen detailliert dokumentiert werden müssen, damit herstellkonforme Kosten- und Zeitstrukturen entsprechend der konstruktiven Gestaltung ausgegeben werden können. Dabei werden die Fertigungs-Features automatisch vom Messwerkzeug erkannt und das Instrument kategorisiert die Bearbeitungsflächen entsprechend den Kostenstellen.

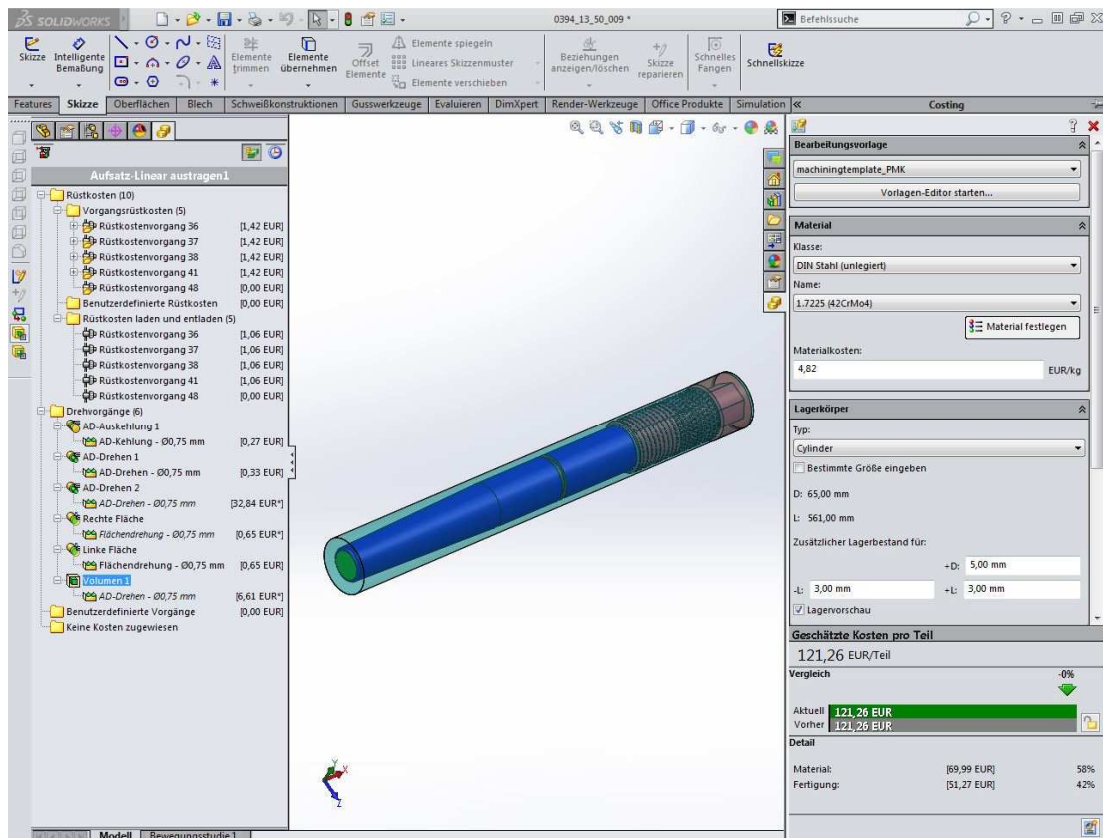


Abbildung: Bauteilanalyse innerhalb der Konstruktionsoberfläche am Beispiel der Spreizspindel

Das CAD-integrierte Werkzeug enthält Regeln und Formeln zur Berechnung von Rüst- und Bearbeitungszeiten der gängigsten betrieblichen Fertigungs- und Gestaltungsverfahren. Die als Basis für die Berechnung dienenden Daten (Materialien, Kostensätze, Werkzeuge, interne Fertigungsverfahren, usw.) werden darüber hinaus periodisch ergänzt und aktualisiert. Die Ergebnisdarstellung schlüsselt die für die Herstellung des Bauteils entstehenden Kosten- und Zeitstrukturen gemäß den Konstruktions-Features auf.

Anzahl	CAD-Feature	Prozesskosten	Prozesszeit
1	AD-Auskehlung 1	0,27	00:00:22
	Nut für Dichtring (blau)		
1	AD-Drehen 1	0,33	00:00:27
	Fräsvorbereitung (lila)		
1	AD-Drehen 2	32,84	00:43:41
	Konus mit Dichtlaufläche (blau)		
1	Flächendrehung	0,65	00:00:52
	rechte Fläche (grün)		
1	Flächendrehung	0,65	00:00:52
	linke Fläche (grün)		
1	AD-Drehen	6,61	00:08:48
	Rundgewinde 60x6 (violett)		
	Bearbeitung gesamt	41,35	00:55:02
	Rüsten gesamt	9,92	00:06:00
	Material gesamt	69,99	XXX
	Herstellung gesamt	121,26	01:01:02

Tabelle: Ergebnisdarstellung der konstruktionsbegleitenden Analyse am Beispiel der Spreizspindel

Der gesamte Wirkungsbereich schließt den geplanten Maschineneinsatz mit Rüst-, aber ohne Nebenzeiten in den Regelkreis mit ein. Die Analyse dieser Ergebnisse ist die Grundlage für gezielte Optimierungen an der Bauteilkonstruktion im Rahmen der definierten Zielvereinbarungen. Im Zuge der Variantenbestimmung durchläuft die Konstruktion einen erneuten Analyse-, Mess- und Bewertungsprozess. So kann das Erzeugnis mit allen für die Organisation möglichen Ausführungsvarianten simuliert werden. Analog aus dem gewonnenen Datenmaterial kann der Konstruktionsingenieur Angaben über Qualitätszustände des Produktes ankündigen.

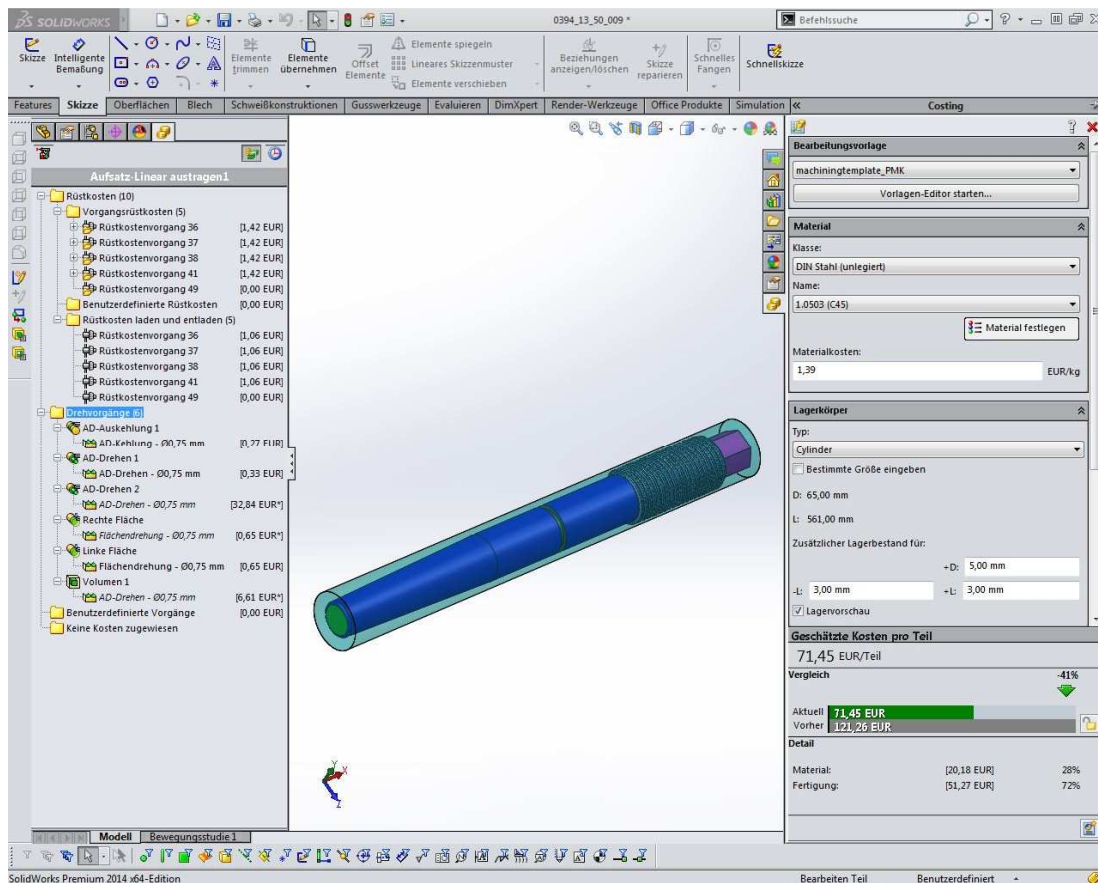


Abbildung: Optimierung der Konstruktionsvariante durch Änderung der Materialgüte am Beispiel der Spreizspindel

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass bereits eine Änderung der Werkstoffqualität (von 42CrMo4 zu C45) das Produkt um ca. 40 % günstiger gestaltet. Voraussetzung ist, dass die statischen Anforderungen derartige Veränderungen zulassen. Seit der Firmengründung wird in dieser Produktentstehungsphase erstmals eine Variantenanalyse möglich und macht das Ergebnis zugleich für alle Projektbeteiligten transparent. Der Genauigkeitsgrad dieser Daten wird über Benchmarking-Aktivitäten sowie durch kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen regelmäßig optimiert.

Als Anlagenbauer ist des Weiteren die ganzheitliche Herstellperspektive interessant, d.h. dass auch Braugruppen in die quantitativen Analyse- und Bewertungsaktivitäten mit einbezogen werden müssen. In diesem Bereich weist das Werkzeug jedoch noch schwerwiegende Lücken in der verursachungsgerechten Prozess- und Wiedergabesicherheit auf.

Die auf Konstruktionsebene basierenden Ergebnisse werden dem Entwickler auf dem Bildschirm präsentiert. Die resultierenden Kosten- und Zeitevaluierungen eigengefertigter, neuer Bauteile und Baugruppen forcieren so den zielorientierten Ansatz für die Risiko-, Termin- und Kostenfrüherkennung. Anschließend werden die Plandatenströme durch Datensynchronisation in der Hauptdatenbank aktualisiert und stehen der Arbeitsvorbereitung, z.B. für die spanabtragende Ablaufplanung, zur Verfügung. Diese Prozesszusammenführung verzeichnet für die Prozessoptimierung eine deutliche Schnittstellen-, Zeiten- und Kostensenkung.

A-7.2 Messung blechspezifischer Bauteile innerhalb der CAD-Anwenderplattform

Zum einen erkennt das Messwerkzeug den Blechteil nur dann automatisch, wenn der Ingenieur den Teil in SolidWorks über Blechfeature-Befehle konstruiert hat. Andernfalls muss er die Bearbeitungsverfahren und -schritte separat als solche ausweisen. Bei richtiger Konstruktionsmethodik werden durchgängige Bohrungen, Austragungen und Außenkonturen automatisch als Schneidpfade für das Brenn- oder Laserschneiden erkannt. Der Konstrukteur ist nach seiner individuellen Wahrnehmung jederzeit im Stande das vorgeschlagene Fertigungsverfahren über die manuelle Adaptierung zu ändern. Nur so können subjektive Sichtweisen des Entwicklungsingenieurs berücksichtigt werden. Wie sich die Entscheidungen des Prozessinhabers über die Bestimmung der Arbeitsgänge in der Produktion auf die Kosten- und Zeitordnung einer Konstruktion auswirken, zeigen die Ergebnisse. Auf diese Weise baut der Entwicklungsingenieur einen ökonomischen Bezug zur Anlagenentwicklung auf.

Die Evaluierung der Herstellkosten und Herstellbedingungen erfolgen durch Datenabruf aus den Systemvorlagen „Blechbearbeitung“ und „maschinell bearbeitete Teile“. Die CAD-Anwenderplattform kategorisiert nach entwicklungsbedingter Eingabe die einzelnen Fertigungsoperationen in die vom angestrebten Soll-Konzept erfassten Prozesse. Diese Unterteilung schließt die Schlüsselfertigungsprozesse Schneiden und Biegen gleichermaßen wie Justiervorgänge und Werkstückoberflächenbehandlungen in die Gesamtanalyse mit

ein. Diese Strukturierung verdeutlicht sehr anschaulich das Zustandekommen der Kosten- und Zeitstruktur des entwickelten Bauteiles.

Der Konstruktionsaufbau der einzelnen Bauteile und die hieraus errechneten Herstelldaten können weiterführend für die Kennzahlensaufbereitung verwendet werden. Hieraus lassen sich maßgebend die Fertigungsbedingungen und -ergebnisse bewerten. Die Resultate werden in Bezug auf Worst Case, Normal Case und Best Case geprüft und tabellarisch ausgelesen.

▪ Prozesskosten und Prozesszeiten innerhalb der Ordnerstruktur

Der **Ordner Schneidpfad** impliziert durch die Bauteilgeometrie die erforderlichen 2D-Bearbeitungsoperationen wodurch Schneidpfade für die jeweiligen Konstruktionsbefehle erzeugt werden. In diesem Entwicklungsstadium können noch sehr einfach Konstruktionsanpassungen hinsichtlich der Bearbeitung getroffen werden.

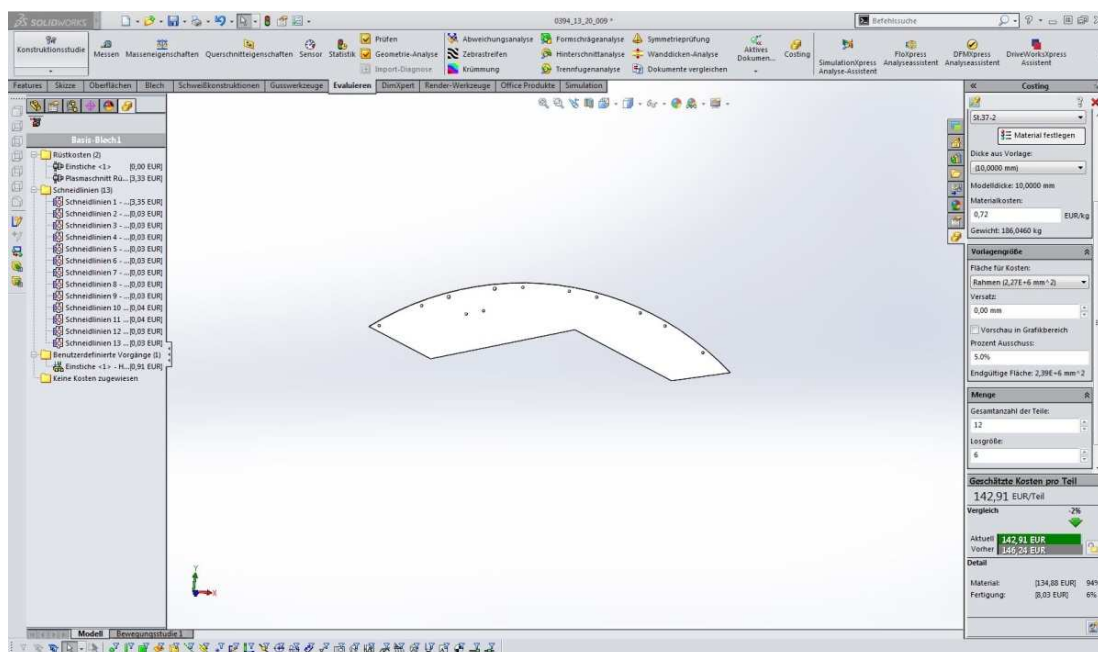


Abbildung: Eingabefeld für plasmageschnittene Bauteile innerhalb der CAD-Anwenderoberfläche

Analysebericht "Blechbearbeitung"

technik@pmk-metalltechnik.at (+43) 5359 20 123-19

Modellname: 0394_13_20_009

Datum und Zeit des Berichts: 11.01.2015 15:35:12

Material: St.52-3

Produktionsprozess: Blechverarbeitung

Dicke: 8,000 mm

Gewicht: 148,84 kg

Vorlagengröße: 2,27E+6 mm*2

Materialkosten: 0,95 EUR/kg

**Zu produzierende
Menge**

Gesamtzahl der Teile: 12

Losgröße: 6

Stückkosten: 149,11 EUR

Verwendete Costing Vorlage: Blechvorlage_PMK.sldots

Vergleich:

Aktuell 149,11 EUR

Vorher 152,45 EUR

Kostenaufschlüsselung

Material:	141,84 EUR	95%
Fertigung:	7,27 EUR	5%
Discount	0,00 EUR	0%

Analysebericht

Modellname: 0394_13_20_009	Material: St.52-3	Material: 141,84 EUR	Gesamtkosten pro Formteil: 149,11 EUR
	Fertigung: Discount	7,27 EUR	
		0,00 EUR	

Aufschlüsselung der Fertigungskosten

Rüstkosten	Kosten (EUR / Teil)
Plasmaschnitt Rüstkosten	3,33
Gesamt	3,33

Schneidlinien	Menge	Kosten (EUR / Teil)
Gesamt	7.542 mm	3,04

Benutzerdefinierte Operationen	Menge	Kosten (EUR / Teil)
Einsteiche	13	0,91
Gesamt		0,91

Aufschlüsselung der Schneidzeit

Bearbeitungszeit	Schneidzeit (min / Teil)
Schneidpfad	3,75
Gesamt	3,75

Abbildung: Beispiel eines Reportberichts CNC-trennschnittbearbeiteter Blechteile im Rahmen der CAD-integrierten Messung

A-7.3 Messung maschinell bearbeiteter Bauteile innerhalb der CAD-Anwenderplattform

Dreh- und Frästeile erkennt das Werkzeug prinzipiell automatisch, wenngleich das Bauteil toleranzgebundene Bemaßungen enthalten muss, um Bearbeitungsunterschiede zwischen Schruppen und Schlichten auseinander kennen zu können. Die Eingabe des Rohteils kann manuell oder automatisiert vorgegeben werden. Die Kennzahlenergebnisse werden bei Produktauslieferung grafisch und zahlenmäßig erhoben und dokumentiert. Das Messwerkzeug kategorisiert in gleicher Weise wie in der Plattform für blechbearbeitete Bauteile die erforderlichen Arbeitsschritte und verweist gleichzeitig auf nicht automatisch erfasste spanend bearbeitbare Arbeitsabläufe. Die Prozessschritte zur Erstellung des Bauteils werden im Konstruktionsmenü separat in die bereits erwähnten prozessspezifischen Ordner eingefügt. Auf diese Weise kann der Konstrukteur systematisch und zielgerichtet Anpassungen während des Produktentwicklungsprozesses durchführen.

▪ Prozesskosten und Prozesszeiten innerhalb der Ordnerstruktur

Als Beispiel enthält der **Ordner Setup** wichtige Informationen über das Einrichten der Produktionsmaschinen sowie die Opportunitätskosten im Sinne zeitabhängiger Rüstkosten. In dem Ordner sind Rüstkosten für das Schneiden, Fräsen, Drehen, Bohren als auch benutzerspezifische Verfahren in entsprechende Rüstoperationen gruppiert.

Der **Ordner Fräsoperationen** enthält Bearbeitungsverfahren wie das Taschen-, Flächen- und Fassenfräsen. Der **Ordner Drehoperationen** umfasst Drehverfahren wie AD-/ ID-Drehen, Plandrehen, AD-/ ID-Auskehlung und Flächenkehlung. Über das Zeitspanvolumen wird die Kostenberechnungsmethode für maschinelle Fertigungsverfahren aufgebaut. Durch diese Rechengrundlage wird die Fertigungszeit errechnet wobei sich durch Multiplikation der Maschinen- und Arbeitskosten die Fertigungskosten ergeben.

Das gleiche Prinzip wird bei **Bohroperationen** angewandt, dessen Ordnerstruktur Loch- und Gewindebohroperation erfasst. Bohroperationen werden über das Zeitspanvolumen für das Loch- und Gewindebohren berechnet. Auch

hier wählt das CAD-integrierte Werkzeug, die auf den Bearbeitungsprozess optimal abgestimmte Werkzeug-/ Verfahrenszusammenstellung.

Firmenintern präferierte Bearbeitungsprozesse werden im **Ordner Bibliotheks-Feature** hinterlegt und ausgewiesen. Nennenswerte Bearbeitungsschritte sind Prozesse zur Herstellung genormter Bearbeitungsvorgaben (Passfedernut, Keilnut, Langlochvarianten, usw.) und Stoßverfahren. Stoßprozesse kommen zwar nicht häufig vor, können aber im Bearbeitungszentrum ausgeführt werden und garantieren verkürzte Durchlaufzeiten, die bei normalen Fräsoperationen nicht möglich wären. Nicht immer ist es möglich, alle Prozesskosten zu deklarieren, das gilt besonders bei komplexen Bearbeitungsverfahren. Diese Operationen werden in einem sekundären Ordner (Keine Kosten zugeordnet) abgelegt, deren Wertigkeiten vom Entwicklungsingenieur per manueller Eingabe komplettiert wird. Wenn die Bearbeitungsverfahren für Schneid-, Fräs-, Dreh-, und Bohrvorgänge dem zuständigen Konstruktionsingenieur nicht bekannt sind, kann die Systemvorlage durch die Angabe eines maschinenabhängigen Tarifes, dazu gehören Maschinen-, Arbeits- und Nebenkosten, außer Kraft gesetzt werden. Diese gilt sozusagen als Auftragspauschale pro Stunde. Diese Vorgehensweise wird angewendet, wenn Bauteile ausschließlich durch Fremdbezug bezogen werden oder es der Einfachheit dient. Dazu gehören z.B. Teile die nur über 7-Achsen Bewegungen herstellbar sind.

- **Spanabtragend produzierte Bauteile**

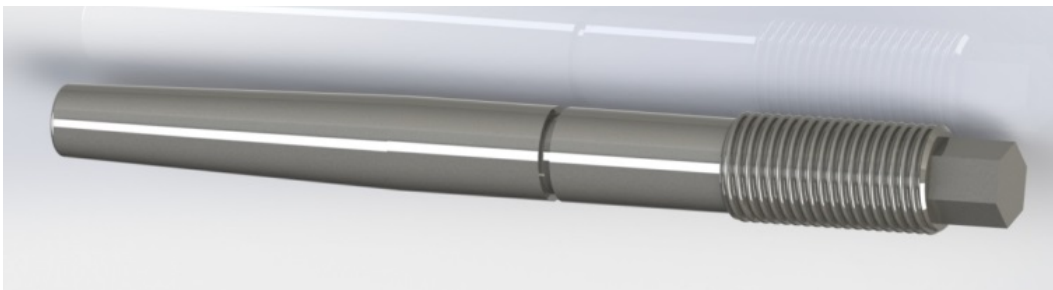


Abbildung: spanabtragend produziertes Bauteil




PMK METALLTECHNIK
Pass Griesen Straße 5 | A-6395 Hochfilzen




**Analysebericht „maschinell
bearbeitete Teile“**

Johannes Zotter
technik@pmk-metalltechnik.at
(+43) 5359 20 123-19




Modellname:	0394_13_50_009
Datum und Zeit des Berichts:	28.12.2014 21:00:40
Material:	1.7225 (42CrMo4)
Produktionsprozess:	Maschinell bearbeiten
Gewicht:	14,52 kg
Rohteiltyp:	Zylinder
Zylindergröße:	65,00x555,00 mm
Materialkosten:	4,82 EUR/kg
Tarif:	45,00 EUR

Zu produzierende Menge	
Gesamtzahl der Teile:	76
Losgröße:	1

Stückkosten:	121,26 EUR
Verwendete Costing Vorlage:	machiningtemplate_PMK.sldctm
Vergleich:	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> -5%  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Aktuell 121,26 EUR Vorher 127,26 EUR </div> </div>

Kostenaufschlüsselung		
Material:	69,99 EUR	58%
Herstellung:	51,27 EUR	42%

Zeit pro Teil:	01:01:02
Rüstkosten:	00:06:00
Operationen:	00:55:02

**Abbildung: Beispiel eines Reportberichts einer spanabtragend produzierten
Spreizspindel im Rahmen der CAD-integrierten Messung**

Analysebericht

Modellname:	0394_13_50_009	Material:	1.7225 (42CrMo4)	Materialkosten:	69,99 EUR	Gesamt pro Teil:	
				Herstellkosten:	51,27 EUR		121,26 EUR
							01:01:02

Aufschlüsselung der Herstellkosten

Rüstkosten	Zeit (hh:mm:ss)		Kosten (EUR)
Rüstkostenvorgang 36	00:01:30		2,48
Rüstkostenvorgang 37	00:01:30		2,48
Rüstkostenvorgang 38	00:01:30		2,48
Rüstkostenvorgang 41	00:01:30		2,48
Gesamt	00:06:00		9,92

Drehoperation	Oberflächenbeschaffenheit	Zeit (hh:mm:ss)	Kosten (EUR)
AD-Auskehlung 1	Schruppen	00:00:22	0,27
AD-Drehen 1	Schruppen	00:00:27	0,33
AD-Drehen 2	Schruppen	00:43:41	32,84
Flächendrehung (Rechte Fläche)	Schruppen	00:00:52	0,65
Flächendrehung (Linke Fläche)	Schruppen	00:00:52	0,65
AD-Drehen – Rundgewinde 60x6	Schruppen	00:08:48	6,61
Gesamt	Schruppen	00:55:02	41,35

Rüstoperationen

1. Rüstkostenvorgang 36
 - a. AD-Auskehlung 1
 - b. AD-Drehen – Rundgewinde 60x6
 - c. AD-Drehen – Konus mit Dichtlauffläche
2. Rüstkostenvorgang 37
 - a. Rechte Fläche (Plandrehen-quer)
3. Rüstkostenvorgang 38
 - a. Linke Fläche (Plandrehen-quer)
4. Rüstkostenvorgang 41
 - a. Volumen 1 (Fräsen)

Abschließend zeigt ein kleiner Bildausschnitt zur besseren Vorstellung über die Dimension der praktisch umgesetzten Schalungshaut, die durch ihre wesentlichen Bestandteile definiert wird.



Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Waidring, am 20.01.2015

.....

<Unterschrift>